

Міністерство освіти і науки України

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

Мішкольцький університет (Угорщина)

Магдебурзький університет (Німеччина)

Петрошанський університет (Румунія)

Познанська політехніка (Польща)

Софійський університет (Болгарія)

Ministry of Education and Science of Ukraine

National Technical University
«Kharkiv Polytechnic Institute»

University of Miskolc (Hungary)

Magdeburg University (Germany)

Petrosani University (Romania)

Poznan Polytechnic University (Poland)

Sofia University (Bulgaria)

**ІНФОРМАЦІЙНІ
ТЕХНОЛОГІЇ:
НАУКА, ТЕХНІКА,
ТЕХНОЛОГІЯ, ОСВІТА,
ЗДОРОВ'Я**

Наукове видання

Тези доповідей
**XXVI МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ
MicroCAD-2018**

**У чотирьох частинах
Ч. I.**

Харків 2018

**INFORMATION
TECHNOLOGIES:
SCIENCE, ENGINEERING,
TECHNOLOGY, EDUCATION,
HEALTH**

Scientific publication

Abstracts
**XXVI INTERNATIONAL
SCIENTIFIC-PRACTICAL
CONFERENCE
MicroCAD-2018**

**The four parts
P. I.**

Kharkiv 2018

ББК 73
I 57
УДК 002

Голова конференції: Сокол Є.І. (Україна).

Співголови конференції: Торма А. (Угорщина), Раду С. М. (Румунія), Стракелян Й. (Німеччина), Лодиговські Т., Шмідт Я. (Польща), Герджиков А. (Болгарія).

Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р.: у 4 ч. Ч. I. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». – 346 с.

Подано тези доповідей науково-практичної конференції MicroCAD-2018 за теоретичними та практичними результатами наукових досліджень і розробок, які виконані викладачами вищої школи, науковими співробітниками, аспірантами, студентами, фахівцями різних організацій і підприємств.

Для викладачів, наукових працівників, аспірантів, студентів, фахівців.

Тези доповідей відтворені з авторських оригіналів.

ISSN 2222-2944

ББК 73
© Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
2018

ЗМІСТ

Секція 1. Інформаційні та управляючі системи	4
Секція 2. Математичне моделювання в механіці і системах управління	37
Секція 3. Технологія та автоматизоване проектування в машинобудуванні	77
Секція 4. Фундаментальні та прикладні проблеми транспортного машинобудування	145
Секція 5. Моделювання робочих процесів в теплотехнологічному, енергетичному обладнанні та проблеми енергозбереження	219
Секція 6. Нові матеріали та сучасні технології обробки металів	266
Секція 7. Комп'ютерні технології у фізико-технічних дослідженнях	313

СЕКЦІЯ 1. ІНФОРМАЦІЙНІ ТА УПРАВЛЯЮЧІ СИСТЕМИ

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL AND SOFTWARE SOLUTIONS OF THE INFORMATION SYSTEM OF SITUATIONAL ENTERPRISE MANAGEMENT

Drach T.O., Goloskokov O.E.
National Technical University
«Kharkiv Polytechnic Institute»,
Kharkiv

In the work as an object of research is considered an IT-enterprise, which represents the domestic software industry in the world market.

The first stage is reduced to the transformation of the detailed information into aggregates of data that allows to analyze the IT-enterprise in terms of a small number of relevant aggregate variables that include profit, costs, orders, the number of employees in the corporation, the amount of investment, the amount of technical support, under conditions for which the initial data are known with varying degrees of detail.

The second stage is the identification of the state of the IT-enterprise. It consists in determining from the input and output values of such a situation from a particular class of situations, in which the real system under investigation is equivalent. In accordance with this, it is necessary to define a class of situations models, among which the most suitable (current) model of the situation will be chosen [1]. That is, it is necessary to conduct a comprehensive study of the state of the object, which allows to get a full understanding of the estimated IT-enterprise not only at the time of the assessment, but also in the retrospective and forecast periods.

It has been established that the most effective approach to the management of an IT-enterprise that has an established, established large-scale production is a situational fuzzy approach.

Since it is necessary to process a large amount of information, it is suggested to use the k-means clustering algorithm in order to distribute fuzzy situations.

Data aggregation is performed. Namely, information was converted into data aggregates, which allowed the IT-enterprise to be analyzed in terms of a small number of relevant aggregate variables.

The state of the IT-enterprise was identified. Namely, it is determined by the input and output values of such situations from a certain class of situations, in which the real system under investigation is equivalent. An example has been calculated with which you can conduct a comprehensive study of the state of the object, which allows you to get a full understanding of the estimated IT-enterprise not only at the time of the assessment, but also in the retrospective and forecast periods.

Then, using the results obtained, we propose the solution of the control problem.

References:

1 Поспелов Д.А. Принятие решений при нечетких основаниях. Универсальная шкала / Д.А.Поспелов. – М. : Изд. АН СССР. Техн. кибернетика. – 1977. – 132 с.

A ROLE OF BUSINESS PROCESS MODEL REPOSITORY IN ENTERPRISE CONTINUUM

Kopp A.M., Orlovskyi D.L.
National Technical University
«Kharkiv Polytechnic Institute»,
Kharkiv

An extremely popular enterprise architecture framework TOGAF includes a concept called enterprise continuum. It explains how certain generic solutions can be customized and used as per specific requirements of an organization. Enterprise continuum provides ways and techniques for classifying enterprise architecture as it transforms from generic architecture to specific architectures that are suitable for specific needs of the organization. Another important TOGAF concept is architecture repository used to store diverse types of architectural outputs, each at varying levels of abstraction (generic, common, industry, and specific architectures) [1].

Formalized view of relationships between enterprise continuum and architecture repository is shown on figure 1.

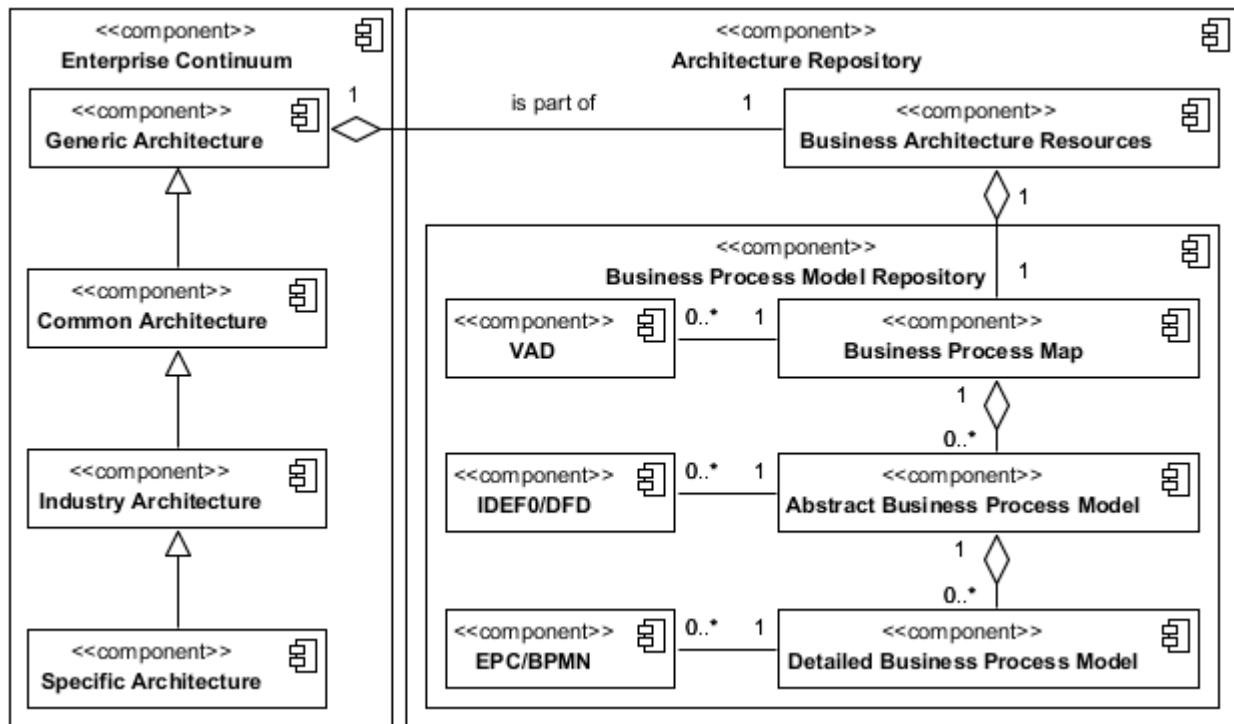


Fig. 1. Business process model repository in enterprise continuum

Whereas TOGAF supports four architecture domains, the blueprint shown above is focused on the business architecture domain. It demonstrates, that to support an iterative cycle of business process models transformation from reference models to organization-specific models and their further reuse as building blocks, a business process model repository concept should be considered as part of a whole enterprise architecture repository provided by enterprise continuum (fig. 1).

References:

1. Pethuru R. Architectural Patterns / R. Pethuru, R. Anupama, H. Subramanian. – Birmingham, UK : Packt Publishing, 2017. – 458 p.

**ASPECTS OF THE FLIGHT INTELLIGENCE ROUTE OPTIMIZATION
UNMANNED AERIAL VEHICLE TACTICAL RADIUS OF ACTION
USING LITTL'S ALGORITHM**

Myklukha V.A., Horbach V.Ya.
*S. Korolov Zhytomyr military institute,
Zhytomyr*

Over the past few years, unmanned aerial vehicles have been significantly developed, with a growing number of industries and forms of use. In the military sphere, UAVs are often used to obtain intelligence information. Minimizing the human factor at all stages of planning and performing assigned tasks is the priority of developing all the latest models of weapons and military equipment. The use of UAVs for air reconnaissance has significant advantages over traditional methods, namely: small dimensions of the UAVs, the minimum personnel vulnerability in combat, the possibility of flying at low altitudes, and improving the quality of images and video taken at the expense of flight altitude and others. However, the use of reconnaissance aircraft of the tactical radius of action imposes significant restrictions: the issue of optimization of the use of unmanned aviation complexes UAVs to reduce the cost of resources for flight, flight routes, etc.

The question of optimizing the flight route, namely, the reduction of the length of the path of passing the contour points of the aircraft, is relevant and actively explored. Many modern studies and publications of domestic and foreign scientists (Moiseiev V. S., Varava I. A., Vasylyn N. Ya., Mosov S. P. and others) are devoted to this topic. The results of their research are actively used in practice, but they are approximate in relation to the most optimal, therefore this issue is promising for further scientific research.

In the research materials, it is proposed to use Littl's algorithm to optimize the flight path of the reconnaissance UAVs. Let's assume that the flight UAVs has the form of a fully connected graph, the peaks of which are the points of departure of the UAVs and the objects of the intelligence, and the edges are the distances between the objects. With the help of Little's algorithm, the arcs with the lowest weights are gradually calculated, and the route of the flight of each point is calculated gradually, so that the overall route of the UAVs will eventually be of the least length.

The prospect of further research in this field is the development of a model for optimizing the routes of the UAVs and checking them for adequacy in real conditions.

A CREATIVE GENERATIVE NEURAL NETWORK FOR FINE ART SYNTHESIS FROM RECOGNISED IMAGES

Mykhailova D.D., Yushchenko A.G.

*National Technical University
«Kharkiv Polytechnic Institute»,
Kharkiv*

For deep learning, studying and simulating human creative mental processes are actual topics. It is convenient to use fine art images for these purposes [1]-[2]. A need for large datasets often becomes a problem in training generative models.

The aim of our research is in optimization of the network architecture and its parameters for effective training on relatively small datasets. The resulting model has a Generative Adversarial Network (GAN) architecture consisting of two neural networks: a generator (R-operator) and a discriminator (S-operator). In terms of Creative Processes Theory (creative operator $C=R+S$), a generator performs rotational synthesis and a discriminator provides selection. For an implementation of the latter, we have chosen a convolutional neural network, which technologically imitates functions of cerebral cortexes. The generator has a deconvolution architecture.

We suggest changes to a typical block structure of a convolutional network consisting in elimination of a pooling layer and addition of a Batch Normalization layer after every convolution layer [3]. It makes the model simpler and the training time shorter. Each of the blocks has a ReLU activation function for increasing convergence velocity of stochastic gradient descent.

The generator network consists of six convolutional blocks while the discriminator network has only four blocks of this type. A sigmoid activation function is used in the discriminator for classifying real and fake images.

The developed generative model can be trained with relatively small datasets (500 images). During training and testing, model images are generated from random noise. Thus, a generative model has been developed for creating fine art from recognized images using small graphic datasets.

References:

1. E.A. Laktionova, A.G. Yushchenko, "Creative Neural Network Machine for Fine Art Synthesis", Student Conferences: Information Technologies and Intellectual Property, NTU "KhPI", Kharkiv, Ukraine, 2013. (in Russian).
2. E.A. Laktionova, A.G. Yushchenko, "Creative neural network of artistic images synthesis of chrysanthemums", Student conferences: Information Technologies and Intellectual Property, NTU "KhPI", Kharkiv, Ukraine, 2014. (in Russian).
3. K. Ganguly "Learning Generative Adversarial Networks", Birmingham: Packt Publishing Ltd., 2017.

AUTOMATIZED SYSTEM FOR SELECTION THE PRIORITY TEAM OF IT-PROJECT EXECUTANTS

Olifenko I.V., Borysova N.V.
National Technical University
«Kharkiv Polytechnic Institute»,
Kharkiv

The need to process large volumes of information in the area of project management calls for the creation of information systems for automation such activities, in particular in terms of automation the process of creating teams for the execution of IT-projects. Solving this problem will allow the project manager to reduce personal time for the formation of the project team, simplify the analysis of the primary information, and lead to more efficient management of the company's employees to achieve the best result. Having analyzed the general tendencies and criteria of IT-specialists selection into the team and based on the results of interviews with working project managers in Kharkiv, our own set of criteria was formed, which, in our opinion, is the most optimal and most effective in the team forming. The set of criteria includes indicators that can be divided into three groups:

- 1) project parameters (name, type, budget, terms of execution);
- 2) information about knowledge, skills, experience, current employee activities (position, level of knowledge, fluency in programming languages, participation in projects of a certain type, etc.);
- 3) psychological portrait of the employee, which is formed in accordance with the model of maximum efficiency of work developed by L.M. Spencer [1].

To enter information on these criteria in the database, special forms have been developed, which are filled out by the project manager, when a new project appears; by an employee when hiring, and then on demand; by HR-manager with a certain periodicity, determined by the company's policy.

The analytic hierarchy process was chosen as a method for analyzing information that ensures achievement of the goal [2]. According to our task, the hierarchy is three-tier. Its summit is the creation of a priority team for IT-project execution. At the second level, there are criteria for evaluating each employee of the company. The third level is occupied by the company's employees, that is, the potential team members for the IT-project execution. As a result of the synthesis of the priorities of alternatives to the main goal and the overall assessment of the consistency of the hierarchy, the developed automated system provides alternative options for the team of IT-project executants.

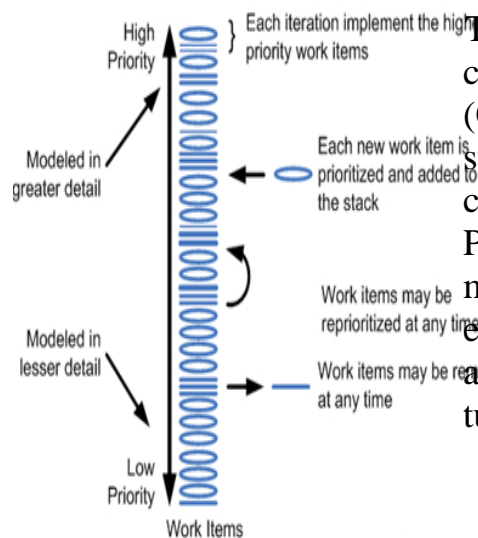
References:

1. Spencer L. M. Competence at Work: Models for Superior Performance / Lyle M. Spencer Jr., Signe M. Spencer. – Delhi : Wiley India Pvt. Limited, 2008. – 384 p.
2. Saati T.L. Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World / Thomas L. Saati. – Pittsburgh, Pa. : RWS Publications, 2008. – 343 p.

AN OPERATING MODEL FOR DYNAMIC REQUIREMENTS MANAGEMENT IN AGILE SOFTWARE DEVELOPMENT

Tkachuk M.V., Abbasov T.F.
National Technical University
«Kharkiv Polytechnic Institute»,
Kharkiv

Requirements management (RM) is one of the most important and weak-formalized disciplines in the modern software engineering. To resolve this problem the several adaptive methodologies called as agile software development (ASD) were proposed, especially the Scrum-method [1]. At the same time, most ASD methods do not provide well-specified and repeatable procedures to support RM.



To provide RM for ASD in an effective and correct way the appropriate operating model (OM) can be proposed [2]. Such an OM supposes to build a dynamic requirements catalog (DRC), see Fig. 1, using an initial Product Backlog (PB) in terms of Scrum-method. Besides that to form DRC the elaborated OM utilizes the appropriate methods and quality metrics which can be presented as a tuple

$$OM(DRC) = \langle PB, Workflows, Metrics \rangle,$$

Fig. 1 – DRC in progress [1]

where $Workflows = (LSA, AGORA, QFD)$ is a set of operating algorithms in order to implement the follows methods:

1) LSA (Latent Semantic Analysis) method allows to process initial textual requirements description in PB, and to eliminate their possible duplication and redundancy; 2) AGORA (Attribute-Goal Oriented Requirements Analysis) method to check a correctness of requirements definition and to identify possible logical contradicts between them; 3) QFD (Quality Function Deployment) method to prioritize all requirements to build a final DRC. The set of *Metrics* includes the appropriate quantitative parameters to estimate requirements quality attributes like correctness, unambiguous, completeness and some others.

References:

1. Anderson D. J. Agile Management for Software Engineering / D.J. Anderson // Prentice Hall, 2007.
2. De Vries, M. A Method for Identifying Process Reuse Opportunities to Enhance the Operating Model / M. de Vries, A. van der Merve, P. Kotze, A. Gerber // IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2011.

CREATIVE NEURAL NETWORK FOR THE SYNTHESIS OF LOGOS WITH THE ELEMENTS OF MODELING OF THE INTERACTION OF CONSCIOUSNESS AND SUBCONSCIOUS

Yushchenko A.G., Sendetskyi M.N., Aslanova L.A.

*National Technical University
«Kharkiv Polytechnic Institute»,
Kharkiv*

Simulation of creative processes with neural networks is of great value either for academic studies or for practical applications. In our case, such simulation is based on the theory of homology of creative processes, which postulates existence of a universal operator that is implemented in a neural network architecture [1]. A certain portion of images generated with the synthesizer network [2] - [4] meets the aesthetic criteria of the "teacher". The aim of our research is to improve originality of the images. As a prototype, we take a perceptron-based logo synthesis neural network that learns in supervised mode and uses the results of learning for subsequent synthesis [4]. It is well known that a subconscious stage is an important stage of human creative processes [1], so we attempt to supplement the prototype neural network with a fragment simulating subconsciousness. The new neural network implements a hybrid learning method that combines supervised and stochastic learning modes. First, four neural networks are created, and each of them is fed a randomly generated input vector for basic training. Then the random selection function is used. Then eight logos are generated to be evaluated by the teacher. The connection weights of a network having produced an approved logo are cloned to all subsequent networks. At the end of the cycle, up to thirty percent of noise is introduced to a pre-stored neural network, which is used as a "teacher", and the program generates ten input vectors, which are fed to the four "student" networks. On each input vector receipt, an answer is given, whether generation of an approved logo is ensured; each answer is recorded in memory and is compared to the answer of the "teacher" neural network. The answers are stored as Boolean values and are used for correction of "student" network weights. The comparison of the results of the prototype and the new network shows that while the number of "successful" logos is higher in supervised mode, the "hybrid" mode produces logos that are more «original».

References:

1. Yushchenko A.G. "Theory of creative processes as a scientific basis of biocentrism in eco- and bioethics", *Ecologicheskii Vestnik*. – International Sakharov Environmental University, 2008. – № 3. PP. 115-119
2. Laktionova E.A., Yushchenko A.G., "Creative Neural Network Machine for Fine Art Synthesis", *Student Conferences: Information Technologies and Intellectual Property, NTU "KhPI", Kharkiv, Ukraine, 2013. (in Russian).*
3. E.A. Laktionova, A.G. Yushchenko, "Creative neural network of artistic images synthesis of chrysanthemums", *Student conferences: Information Technologies and Intellectual Property, NTU "KhPI", Kharkiv, Ukraine, 2014. (in Russian).*
4. Yushchenko A.G., Makarchuk Y. A., "Creative neural network for the synthesis of logos", *International conferences: Problems of Informatics and Modeling. Section - Young Scientists. - NTU "KhPI", Kharkiv, Ukraine, 2013. (in Russian).*

IT COMPANY STAFF EVALUATION: PROCESS AUTOMATION

Zarudniev M.A., Stratiienko N.K.

*National Technical University
«Kharkiv Polytechnic Institute»,
Kharkiv*

One of the key components of IT project success is effective management of its team. Management processes, such as motivation, development and staff training, are closely linked to their evaluation and certification. There is no uniform system of personnel evaluation today. Each IT company evaluates its employees' performance and potential for further development in its own way. Therefore, the development of software to evaluate the personnel of IT companies is relevant.

This article contains analysis the methods of personnel assessment, for example, such as the method of 360 degrees, estimate based on competences, assessment of professional qualities. In the assessment of personnel are used different methods depending on the goals and objectives of the company.

There is formulated the task of software development allowing to carry out not only an assessment of the it-company employee, but also a comparative analysis of individual results for the IT project team.

The General algorithm of personnel assessment includes: determination of assessment goals and objectives, analysis of situation, criteria development, preparation of work plan and assessment forms, evaluation and its analysis.

Three groups of criteria were selected for staff assessment:

1. Professional competence is the special knowledge and skills necessary for successful and effective work.
2. Personal qualities that contribute to the development of professionalism.
3. Corporate competencies that meet the requirements of the company's organizational culture.

The importance of each competence was determined in accordance with the expert assessment. Make a note that professional competence for the different roles in differ (for example, a programmer has knowledge of certain programming languages, OS, DBMS), whereas corporate competencies are the same for all positions.

Evaluation of each competence was carried out on a five-point scale: unacceptable manifestation of competence (an unsatisfactory rating); below the required; at the level expected from the employee; a good level, just above the required; excellent level, much higher than expected by the company.

The assessment results are presented in the form of a General integrated indicator, as well as in a graphical form, that allows to clearly identify the competencies that the employee needs to develop in order to qualify for the transfer to the next category. Also, the document "professional portrait on the evaluation basis" is prepared, which describes the levels of all competencies of the employee.

In the designing software process use-case, activity, component, deployment, database and classes diagrams were developed. The following technologies were used for software development: WPF and MS SQL. Test case was formed.

КОРПУСНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ СЛІВ-ЗАПОЗИЧЕНЬ У ТВОРАХ СУЧАСНИХ УКРАЇНСЬКИХ ПИСЬМЕННИКІВ

Алешко Є.О., Борисова Н.В.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків*

На сучасному етапі розвитку корпусної лінгвістики її методи надають широкі можливості для проведення різноманітних досліджень в межах лінгвістичних, соціологічних та історичних дисциплін. Основою будь-якого корпусного дослідження є лінгвістичний корпус – зібрання текстів певною мовою, представлених в електронній формі, та спеціальним чином розмічене, щоб дослідник міг швидко і в повному обсязі знайти в корпусі потрібну йому інформацію. Однією з основних функцій лінгвістичного корпусу є можливість отримання лінгвостатистичних даних про частоту використання тих або інших словоформ або словосполучень, тобто частотність вживання. Ця функція дозволяє, наприклад, у соціолінгвістичному дослідженні визначити вживання мовної одиниці певною соціальною, віковою, гендерною групою; в історичному аспекті – простежити етимологію та зміну семантики мовної одиниці. Таким чином, в дослідженні із застосуванням корпусів використовуються лише точні емпіричні дані. Для вирішення задачі дослідження використання слів-запозичень у творах сучасних українських письменників було створено власний корпус та розроблено програму автоматичного аналізу корпусу. Корпус складається з 10 підкорпусів. Кожний підкорпус містить по 4-5 творів одного з десяти українських письменників: Леся Подерев'янського, Ліни Костенко, Лубка Дереша, Луко Дашвара, Марії Матіос, Оксани Забужко, Олександра Мехеда, Сергія Жадана, Тараса Прохаско, Юрія Андруховича. Кожний твір містить приблизно від 1000 до 3000 знаків. Для роботи програми автоматичного аналізу створеного корпусу також використовувалась лінгвістична база даних слів-запозичень української мови, що містить більше 500000 слів. База даних формувалась автоматично за допомогою відповідної програми. Вибір слів-запозичень у базу даних здійснювався з існуючих електронних орфографічних словників української мови за визначеними правилами. Правила формувались за результатами аналізу літературних джерел з цієї проблематики. Відбір здійснювався за 50 правилами, що відповідають різним мовам, з яких відбулося запозичення. В результаті роботи програми автоматичного аналізу корпусу за кожним підкорпусом отримуємо список слів-запозичень, які було знайдено у творах, що входять до підкорпусу, із зазначенням частоти їх вживання. Подальший аналіз отриманих результатів дозволив зробити висновок, що сучасні українські письменники майже не використовують слова-запозичення у своїх творах: частота їх вживання в основному дорівнює 1. Звичайно, це стосується лише творів, що увійшли до корпусу. Розширення існуючого корпусу дозволить підтвердити або спростувати це твердження. Крім того перспективою даного дослідження може бути отримання інших статистичних даних та закономірностей використання слів-запозичень.

МЕХАНІЗМИ ТА ЗАСОБИ ЗБЕРЕЖЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ПРИ СТВОРЕННІ ВІДМОВСТІЙКИХ ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ

Буценко Ю.П., Савченко Ю.Г.

*Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського,
м. Київ*

Ідея використання апаратної надлишковості для забезпечення надійності електронних систем відома досить давно і широко використовується при створенні відповідальних за свої призначення пристроїв і систем. Класичною реалізацією цієї ідеї можна вважати мажоритарний метод Дж. фон Неймана. На момент виникнення методу (1952р.) практична реалізація була проблематичною, оскільки мінімальний рівень необхідної надлишковості потребував потроєння масо-габаритних параметрів апаратури, що у більшості випадків виходило за межі реальних можливостей, наприклад, для бортової апаратури, де вимоги до надійності в той час були найбільш критичними. На сьогодні ситуація змінилася докорінним чином завдяки досягненням мікро- та наноелектроніки, з одного боку, а з іншого – широкому застосуванню відмовостійких електронних систем в банківській та комерційних сферах, для автоматичного керування наземними транспортними та технологічними об'єктами, де немає критичних обмежень на габарити та вагу. До того ж, для деяких застосувань навіть вартість додаткового обладнання не є критичною, оскільки плата за надійність (відмовостійкість) набагато вища за можливі збитки при виникненні відмови.

Кластери високої доступності – «High-availability clusters (HA)» Цей термін виник порівняно недавно та використовується в основному для резервованих комп'ютерних телекомунікаційних систем, банківських систем збереження даних (СЗД), комп'ютерних систем керування комерційними та торговельними мережами. У традиційних термінах це резервовані системи із апаратною надлишковістю і в більшості випадків мова йде про використання так званого гарячого резервування (навантаженого резерву). До цього ж класу можна віднести методи, які широко використовуються фірмою TANDEM для створення так званих промислових комп'ютерів. У будь-якому варіанті мова йде про заміну одного об'єкта (електронної схеми, пристрою, комп'ютера, сервера мережі) n однаковими (однотипними, еквівалентними за функціями) об'єктами та утворення результату шляхом оброблення сигналів (даних) з n виходів. Варіанти розрізняються рівнем надлишковості ($n = 2, 3, 4, \dots$) та логічними правилами оброблення сигналів, по суті, алгоритмами керування кластером. У доповіді проводиться узагальнення згаданих вище методів і показано, на що сьогодні існує лише три процедури відновлення інформації при відмові частини складових кластера: 1) мажоритарна, 2) мажоритарна з адаптацією та 3) 2-парна з миттєвим відключенням пари, яка відмовила.

Для кожного з цих варіантів отримані розрахункові співвідношення для функцій розподілу ймовірності безвідмовної роботи системи в залежності від рівня надлишковості та функцій розподілу ймовірностей безвідмовної роботи компонентів (складових) системи.

ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИВНОГО МЕТОДА ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ ВЕРТОЛЕТА МИ-8МТВ

Владов С.И., Климова Я.Р.

Кременчугский летный колледж

Национального авиационного университета,

г. Кременчуг

Исходя из того, что за последние десятилетия количество аварий вертолета Ми-8МТВ составило не один десяток, актуальной научно-практической задачей является диагностика работы его двигателя. Входными параметрами для диагностики двигателя вертолета Ми-8МТВ являются следующие его параметры: удельный расход топлива (x_1), массовый часовой расход топлива (x_2), эффективная мощность двигателя (x_3), частота вращения свободной турбины (x_4), частота вращения турбокомпрессора (x_5), давление воздуха на выходе из компрессора (x_6), степень повышения давления в компрессоре (x_7), температура газов (x_8). Разработанная нейронная сеть имеет соответственно восемь входов и один выход, который преобразует функцию $f(x_1, x_2, \dots, x_8)$ в функцию $f(x)$, что позволяет одновременно учитывать все контролируемые параметры двигателя.

Поскольку самым важным свойством нейронных сетей является их возможность обучаться на основе данных об объекте исследования, предлагается применить адаптивный шаг обучения нейронной сети, который реализуется в виде градиентного метода [1], в котором изменение весов описывается зависимостью:

$$\vec{w}_{k+1} = \vec{w}_k + \eta_k \vec{p}_k; \quad (1)$$

где η_k – размер шага на k -ой итерации, а вектор p_k задает направление движения и вычисляется по формуле:

$$\vec{p}_k = \vec{g}_k + \sum_{i=1}^{\min(k-1, m)} \beta_i \vec{g}_{k-i}; \quad (2)$$

где вектор g_j задает направление антиградиента на j -ой итерации; β_i – коэффициент, определяющий вес i -го градиента; m определяет количество запоминаемых градиентов; k – порядковый номер текущей итерации.

Градиентный метод обучения из (2) получается при $m = 0$, а методы сопряженных градиентов, которые наиболее часто употребляются при обучении нейронных сетей, получаются путем суммирования всех предыдущих направлений (при $m = \infty$).

Выводы. В работе предложено применение адаптивного алгоритма с целью более гибкого решения задач диагностики двигателя вертолета Ми-8МТВ при обучении разработанной нейронной сети.

Литература:

1. Лиля В. Б. Алгоритм и программная реализация адаптивного метода обучения искусственных нейронных сетей / В. Б. Лиля // Инженерный вестник Дона. – 2012. – Т. 19. – № 1. – С. 55–59.

УРАХУВАННЯ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ В УМОВАХ ITS

Володарець М.В.

*Український державний університет залізничного транспорту,
м. Харків*

Транспортна система є складною системою, яка характеризується стохастичністю, що представлено наступним: випадковою величиною транспортного попиту, погодно-кліматичними факторами, зміною характеристик вулично-дорожньої мережі, аварійними ситуаціями і зносом дорожнього покриття [1]. Найбільш адекватним засобом опису і прогнозування поведінки такого об'єкта є моделювання. З цією метою створена динамічна модель визначення параметрів робочих процесів в транспортному вузлі в умовах ITS (рисунок 1).

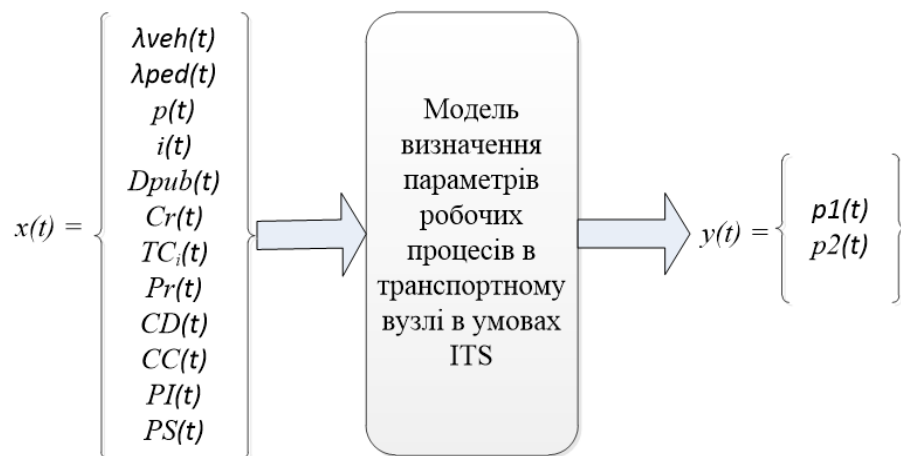


Рисунок 1 – Динамічна модель визначення параметрів робочих процесів в транспортному вузлі в умовах ITS: завдання процесу на входах $x(t)$ і виходах системи $y(t)$

В моделі використано наступні залежності: $\lambda_{veh}(t)$ – інтенсивність руху транспортних засобів; $\lambda_{ped}(t)$ – інтенсивність руху пішоходів; $p(t)$ – матриця перехідних ймовірностей; $i(t)$ – тип транспортних засобів; $D_{pub}(t)$ – час затримки громадського транспорту на зупинці; $Cr(t)$ – стан дорожнього полотна; $TC_i(t)$ – технічний стан транспортних засобів; $Pr(t)$ – параметри дороги; $CD(t)$ – культура водіння; $CC(t)$ – кліматичні умови; $PI(t)$ – параметри інфраструктури; $PS(t)$ – параметри системи регулювання та контролю; $p1(t)$, $p2(t)$ – тривалість першої і другої фаз світлофорних об'єктів в транспортному вузлі.

Модель може бути використана при формуванні ITS для врахування умов експлуатації транспортних засобів.

Література:

1. Семёнов В.В., Ермаков А.В. Исторический анализ моделирования транспортных процессов и транспортной инфраструктуры // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. – 2015. – № 3. – 36 с. URL : <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2015-3>.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СКОЛЬЗЯЩЕГО ПЛАНИРОВАНИЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Голоскокова А.А., Белоус А.С., Чипиженко А.А.

Национальный технический университет

«Харьковский политехнический институт», г. Харьков

В работе рассматривается информационная технология (ИТ) скользящего планирования улучшения качества процесса разработки (ПР) программного обеспечения (ПО), в основу которой положена идея синтеза статических и динамических моделей (моделей текущего и среднесрочного планирования). Скользящее планирование предполагает на первом этапе решение динамической задачи, на основе которого определяется целевой профайл для первого подпериода планирования, который является целью при рассмотрении статической задачи. Решение статической задачи определяет целевой профайл, который уточняет профайл, полученный в результате решения динамической задачи, и является для нее входной информацией для дальнейшего использования. В основу данных моделей положено вербальное описание модели зрелости СММІ, их формализация реализована в [1, 2]. В работах [3, 4] произведено проектирование и реализацию программных компонент, которые позволяют рассчитывать оптимальную траекторию улучшения качества ПР ПО, как на краткосрочном, так и среднесрочном периоде планирования, основываясь на исходном состоянии ПР ПО, финансовых ограничениях и весовых коэффициентах важности отдельных объектов модели. Данные ИТ были протестированы на соответствие заявленным функциональным и нефункциональным требованиям, используя данные ИТ-компаний.

В дальнейшем планируется исследовать ИТ на данных, размерность которых приближена к реальным условиям. Это позволит определить максимальный объём, на котором информационная система (ИС) может функционировать. Так же планируется проектирование и разработка ИС, которая будет осуществлять интеграцию статической и динамической задачи улучшения качества ПР ПО.

Литература:

1. *Годлевский М. Д.* Синтез статических моделей планирования улучшения качества процесса разработки программного обеспечения / М. Д. Годлевский, А. А. Голоскокова // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2015. – № 3/2 (75). – С. 23–29.
2. *Годлевский М. Д.* Динамическая модель планирования улучшения качества процесса разработки программного обеспечения / М. Д. Годлевский, Э. Е. Рубин, А. А. Голоскокова // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ» – 2015. – № 58 (1167). – С. 3–6.
3. *Godlevskiy M. D.* Medium-term planning information technology for quality improvement of the software development process based on the CMMI model / M. D. Godlevskiy, A. A. Goloskokova, A. A. Chipizhenko // Bulletin of National Technical University "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 51 (1272). – P. 32–37.
4. *Godlevskiy M. D.* Information technology of a static model solving for quality improvement of the software development process based on the CMMI model / M. D. Godlevskiy, A. A. Goloskokova, O. S. Bielous // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 55 (1276). – P. 26–30.

ПРОТОКОЛ СИНХРОНІЗАЦІЇ РЕСУРСІВ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ СИСТЕМАТИЗАЦІЇ ДАНИХ У РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

Гонтар Ю.М., Чередніченко О.Ю., Василенко А.В.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Величезні потоки даних, які необхідно обробляти сучасному підприємству, вимагають розробки і використання технологій їх обробки з урахуванням жорстких обмежень на час обробки. Для забезпечення безпечного механізму примусового впровадження, вводиться нова конструкція програмування для синхронізації ресурсів, відома як превентивні критичні розділи (PCS). PCS використовує форму транзакційної пам'яті програмного забезпечення для перезапуску транзакції, яка була витіснена задачею з більш високим пріоритетом. Після того як задача з більш високим пріоритетом звільнила ресурс, задача з більш низьким пріоритетом відкочується і перезапускається.

Основна перевага цього підходу полягає в тому, що задача з більш високим пріоритетом виконується швидко. Іншою перевагою цього підходу є усунення збільшених періодів блокування, що виникають у разі, коли задача з більш низьким пріоритетом дозволяє перевитратити свій бюджет, що використовується в протоколі OPEN-HSRP. В результаті протокол синхронізації ресурсів RACPwP забезпечує покращений час відгуку жорстких задач в реальному часі, послаблюючи обмеження, накладене на час виконання критичних секцій ієрархічними плановими системами.

Варто зазначити, що існують деякі обмеження, пов'язані з використанням PCS. Одне з них – це додаткові обчислювальні витрати, які накладає система на транзакційну пам'ять програмного забезпечення. Іншим обмеженням є традиційне введення-виведення, яке не повинне виконуватися в транзакції. Продуктивність протоколу RACPwP як частини ієрархічної планової системи, оцінюється з використанням аналізу часу відгуку в гіршому випадку. Найгірший час відгуку задачі, що обслуговується підсистемою, відбувається під час одного зі сценаріїв: 1) бюджет підсистеми вичерпаний, як тільки запущені задачі з більш низьким пріоритетом, і якщо завдання знаходиться в критичному розділі, вона вивантажується; 2) задачі і всі інші пріоритетні задачі в додатку надходять відразу після вичерпання бюджету підсистеми; 3) бюджет підсистеми поповнюється, але виконання затримується якомога довше через перешкоди від інших підсистем з більш високим пріоритетом. Ґрунтуючись на наведених вище сценаріях, найгірший час відгуку задачі може бути обчислено шляхом визначення інтервалу часу, коли можуть виконуватися задачі на рівні пріоритету або вище. Цей інтервал часу або вікна виконання визначається трьома компонентами: 1) виконання задачі разом з усіма задачами з більш високим пріоритетом на першому рівні пріоритету; 2) періоди поповнення будь-яких повних серверів; 3) взаємодія з серверами з більш високим пріоритетом.

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПОБУДОВИ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ ТРАЄКТОРІЇ НАВЧАННЯ У РОЗПОДІЛЕНОМУ ВІРТУАЛЬНОМУ УНІВЕРСИТЕТІ

Горбач Т.В., Шубін І.Ю., Славгородський В.Ю.
*Харківський національний університет радіоелектроніки,
м. Харків*

В минулому освіта вважалась індивідуальною та приватною діяльністю. Після одержання шкільної освіти, особа здобувала нові знання та вміння на індивідуальних курсах, семінарах, на роботі. Навчальні матеріали надавались у друкованій формі або у вигляді комп'ютерних програм (навчання з використанням комп'ютерних технологій). З появою Інтернету такі форми навчання набули нових освітніх можливостей. Учні реєструються на віртуальних курсах, використовуючи освітні портали, отримують доступ через свої веб-браузери, і висилають запитання до викладача електронною поштою. У синхронних системах, учні відвідують віртуальні лекції, оглядаючи слайди та слухаючи пояснення викладача, які передаються через Інтернет.

Ідея розподіленого навчального середовища та електронного навчання стає вагомою у задоволенні зростаючих потреб. Ця тема висвітлена у багатьох працях та дослідженнях. Особливо активно зараз вивчаються наступні аспекти: Next Generation Learning Platforms, Computer Supported Collaborative Learning Requiring Immersive Presence, Technology Supported Learning. Протягом останніх років у цій сфері запропоновано багато досліджень, зокрема аналізується колективне навчання, визначається інфраструктура та ієрархія навчальних систем. Об'єктом дослідження є процес концептуального та практичного вдосконалення розподіленого навчального середовища. Предметом дослідження є підходи та технічні заходи, що дозволяють створення розподілене навчальне середовище використовуючи специфічні технології та пов'язані з ними стандарти, що уможливають взаємозв'язок систем, їх подальший розвиток та вдосконалення.

Багато викладачів та авторів з усього світу розробили численні навчальні матеріали в електронній формі. В центрі глобального освітнього середовища знаходиться база незалежних навчальних об'єктів, які називають освітніми пакетами. Освітній пакет може містити будь-які матеріали: набір слайдів, прокоментовані рисунки, відеоролики тощо. В той самий час пакети повинні строго відповідати стандартам. Кожен пакет супроводжується структурованою множиною дескрипторів, що описують вміст, використовуючи узгоджений протокол метаданих. Оскільки усі пакети характеризуються спільними метаданими, програмні застосування можуть отримати доступ та управляти ними через неприватні загальнодоступні інтерфейси.

Таким чином, розробка моделей, алгоритмів та програмного забезпечення автоматизації процесів побудови траєкторії навчання у розподіленому навчальному середовищі є актуальною науково-практичною задачею, вирішення якої дозволить сформулювати базові засади побудови сучасного розподіленого віртуального університету.

ОРГАНІЗАЦІЯ МЕНЕДЖМЕНТУ ПРИ СТВОРЕННІ ГРУПИ WEB-ЗАСТОСУВАНЬ

Двухглавов Д.Е., Рак А.В.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

На тлі збільшення кількості одночасно створюваних продуктів та їх складності в компаніях з розробки програмного забезпечення стає більш актуальною задача організації ефективного управління процесом їх створення. Це пов'язано з тим, що створення програмного продукту передбачає виконання певної сукупності етапів. Збільшення кількості проектів, що одночасно знаходяться в роботі, призводить, відповідно, до збільшення кількості етапів, що потребують контролю виконання. Тому відповідні керівники, компанія яких функціонує в таких умовах, потребують використання в своїй роботі нових засобів підтримки управлінських процесів в зазначених умовах. В ході дослідження аналізувалась діяльність компанії ІТкомпанії, яка створює одночасно декілька WEBзастосунків.

В даний час відомі та активно застосовується різні моделі, методи та технології розробки програмних продуктів, розраховані на великі і дрібні проекти, на великі і маленькі команди розробників. До них відносяться: діаграма Ганта; сервіс Trello, побудований на методології Canban; принцип постановки завдань SMART; матриця Ейзенхауера; система пріоритетності завдань. Але на даний час жодний з сервісів окремо не задовольняє потреби компанії. Наприклад, немає стабільної інтеграції Trello і діаграми Ганта, немає автоматизації для постановки завдань відповідно до принципів SMART, не використовуються матриця Ейзенхауера, з використанням якої зручно визначати та наочно відображати пріоритети завдань.

В зазначеній організації запропоновано створити систему, яка поєднує переваги розглянутих засобів процесів менеджменту. Головне завдання цієї системи полягає в правильному використанні ключових ресурсів проекту: людей та бюджету. Організацію управління проектами за допомогою запропонованої системи передбачає наступне: за допомогою матриці Ейзенхауера і системи пріоритетності завдань визначаються завдання проекту, які, в свою чергу, ставляться за принципом SMART. Всі дані про проект в разі з картками завдань заносяться в Canban-дошку, після чого автоматично розподіляються по діаграмі Ганта. Розроблена система для управління проектами дозволяє ефективно використовувати робочі ресурси, економити бюджет проекту і дозволяє досягати поставлених цілей.

Наступною задачею в цьому напрямку є поєднання розробленої системи з Webзастосуванням, для організації роботи менеджменту.

РОЗРОБКА ПРОТОТИПУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ЧАТ-БОТУ

Дідусьов В.С., Кочуєва З.А.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Унікальні можливості Інтернет такі, як швидкість, оперативність, доступність комунікації між користувачами, дозволяють використовувати мережу як засіб спілкування і створювати інтерактивні форми спілкування: чати, форуми, телеконференції, електронну пошту та інші. На зміну реальним співрозмовникам приходять програми штучного інтелекту, такі як чати, консультанти, помічники, розважальні програми та інші. Але, на відміну від розмови людей, програма не володіє гнучким розумовим інтелектом. На жаль, сучасні віртуальні співрозмовники лише частково вирішують питання імітації розмови людини. Обробка природної мови, особливо розмовного стилю, є проблемою, що стосується штучного інтелекту.

У межах даного дослідження було розроблено прототип інтелектуального чат-боту, який може підтримувати бесіду за визначеною темою. Як відомо, в основу функціонування віртуальних співрозмовників може бути покладено або базу знань, або рекурентну нейронну мережу [1]. Для реалізації поставленої задачі нами використовувалася рекурентна нейронна мережа Джордана – вид багат шарового перцептрона, у якого сигнали з нейронів вихідного шару надходять на додаткові нейрони вхідного шару, так звані нейрони контексту (рис. 1).

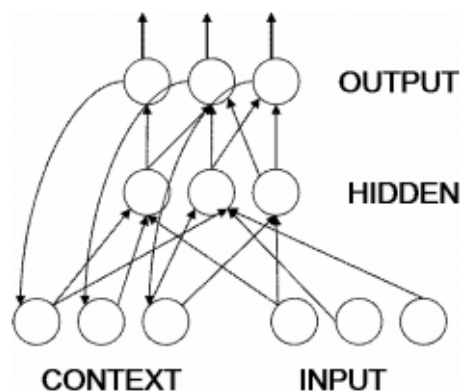


Рисунок 1 – Архітектура рекурентної нейронної мережі Джордана [1]

Вхідний вектор сигналу надходить на групу нейронів INPUT, на групі нейронів CONTEXT нульовий сигнал. Далі сигнал поширюється в групу нейронів прихованого шару HIDDEN, а потім перетворюється ними і потрапляє на нейрони вихідного шару OUTPUT. На наступній ітерації разом з вектором сигналу INPUT на контекстну групу нейронів надходять копії сигналів з вихідного шару OUTPUT минулої ітерації.

Література:

1. Jordan, M. I. Serial order: A parallel distributed processing approach // Institute for Cognitive Science Report 8604. – University of California, San Diego, 1986.

КЛАССИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ МИКРООПЕРАЦИЙ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ УПАКОВКИ МИКРОКОДА

Кожин Ю.Н., Прокопенков В.Ф.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Одним из способов формирования последовательности управляющих сигналов при выполнении операций в цифровых вычислителях является использование микропрограммы. Под микропрограммой можно понимать множество двоичных слов, каждый разряд (или группа разрядов) которых определяет формирование или отсутствие управляющего сигнала на ресурсы вычислителя. Одной из проблем формирования микропрограммы является – большое количество ресурсов цифрового устройства на низком уровне и необходимость учета временных ограничений на формирование управляющей последовательности. Для решения задачи создания микропрограммы может быть использована система автоматического (автоматизированного) формирования микропрограммы на основе представления микропрограммы в виде последовательности микроопераций – элементарных управляющих сигналов для реализации очередной команды вычислителя.

В результате анализа современных цифровых устройств можно выделить три группы моделей микроопераций для решения задачи формирования микропрограммы: ресурсная, ресурсно-временная и асинхронная ресурсно-временная модели.

Ресурсная модель микроопераций представляет собой набор входных, выходных и функциональных ресурсов вычислителя – $MO\{R_{in}, R_{out}, R_f\}$. Такая модель микроопераций может быть использована для вычислителей с одно фазным и одно тактовым характером формирования управляющего сигнала при выполнении микроопераций.

Ресурсно-временная модель микроопераций $MO\{<R_{in}, T_{in}>, <R_{out}, T_{out}>, <R_f, T_f>\}$ учитывает не только набор ресурсов, участвующий при выполнении микрооперации, но и интервалы времени использования этих ресурсов. Такая модель микроопераций может быть использована для вычислителей с много фазным и/или много тактовым характером выполнения микрооперации.

Для вычислителей с распределенной архитектурой, в которых выполнение отдельной микрооперации может быть связано с моментом освобождения этого ресурса после выполнения предыдущей микрооперации или использования сигналов готовности (квитанций обмена данными), ресурсно-временная модель микрооперации может быть дополнена набором состояний ресурсов $MO\{<R_{in}, T_{in}, S_{in}>, <R_{out}, T_{out}, S_{out}>, <R_f, T_{in}, S_f>\}$. Набор состояний входных и выходных ресурсов определяет возможность начала исполнения микрооперации в целом и/или отдельных частей микрооперации в случае конвейерного характера выполнения микрооперации.

ВИКОРИСТАННЯ ЯКІСНИХ І КІЛЬКІСНИХ МЕТОДІВ ФОРМУВАННЯ ТОВАРНОЇ ПОЛІТИКИ ІТ-ПІДПРИЄМСТВА

Лисицький В.Л., Моргун Я.Ю.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Діяльність сучасного підприємства в умовах ринкової економіки вимагає досягнення і підтримки високого рівня конкурентоздатності підприємства та попиту споживачів на товари або послуги, які ним виготовляються. Для цього необхідно ефективно використовувати набір різноманітних підприємницьких та маркетингових рішень, зокрема, формування товарної політики підприємства [1].

Існує декілька груп методів формування товарної політики підприємства:

- 1) методи аналізу ринкової ситуації;
- 2) методи формування стратегії управління асортиментом;
- 3) концепція «4р» - product (товар), price (ціна), promotion (заохочування), place (розміщення);
- 4) методи визначення попиту;
- 5) методи розробки плану продажів.

Кожна група методів характеризується певними перевагами і недоліками [2].

Для зменшення впливу окремих негативних факторів можна об'єднати якісні методи, а саме, методи визначення попиту для формування асортименту продукції підприємства, і кількісні методи – методи розробки плану продажів для обчислення об'ємів виробництва продукції. Серед методів визначення попиту популярним є метод аналізу ієрархії.

Цей метод використовується для формування асортименту товарної політики (якісна складова). Для формування об'ємів виробництва обраної продукції (кількісна складова товарної політики) використовується симплекс-метод вирішення задачі лінійного програмування. Метою вирішення такої задачі є отримання максимального прибутку, враховуючи обмеження на існуючі ресурси підприємства.

Література:

1. Маркетинг у сферах діяльності: Навч. посібник / Під ред. д-ра екон. наук, проф. М. А. Нагапет'янца. — М. : Вузівський підручник, 2007.
2. Зотов В.В. Асортиментна політика фірми: Навч. посібник – М.: МЭСИ, 2009.

ДЕЯКІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНЮВАННЯ ВЕБ-САЙТІВ

Лютенко І.В., Курасов О.І.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків*

В наш час, в епоху бурхливого розвитку та впровадження в усі галузі людської діяльності інформаційно-комунікаційних технологій, в умовах сучасного ринку електронне представництво в мережі Інтернет є суттєвою потребою для будь-якої організації. Однак, на сьогодні відсутні єдині вимоги до складу, структури та інформаційного наповнення веб-сайтів. Тому задача оцінки якості сайтів досить складно піддається формалізації. Також, виведення найбільш простої для сприйняття оцінки веб-сайтів повинно полегшити їх порівняння, що актуально і при SEO-оптимізації. Виконуючи порівняння подібного роду, зацікавлені особи можуть легко контролювати якість продукту на різних етапах як під час розробки сайту, так і під час пошукової оптимізації. Зростаючий попит у теперішній час на ці послуги зумовлює розвиток інструментів їх реалізації та надання. Досить важливою є розробка методики оцінювання якості веб-сайту, за допомогою якої можна було би врахувати велику кількість його кількісних та якісних показників та скласти остаточну оцінку, що мала би високий рівень точності, коректності та була би простою для сприйняття та подальшого використання. За своєю сутністю, веб-сайт є типовим багатокритеріальним об'єктом. Йому притаманний великий обсяг кількісних та якісних властивостей різного ступеня важливості, який залежить від вподобань особи, яка приймає рішення. У разі, якщо проводиться оцінка декількох об'єктів з декількома десятками властивостей, виникає проблема, яка полягає у тому, що формальне порівняння лише за одними значеннями атрибутів стає неможливим, а спроби зменшити кількість критеріїв оцінювання призводить до зниження якості остаточного результату через його віддалення від дійсності. Такі умови вимагають шукати метод, який забезпечив би вирішення задачі багатокритеріального вибору у просторі великої розмірності шляхом скорочення кількості вимірів, опираючись на правила предметної області та специфіку порівнюваних об'єктів [1]. Групове сортування багатокритеріальних об'єктів може будуватися методом АРАМИС [2], який дозволяє ранжувати об'єкти, описані багатьма періодичними кількісними і/або якісними атрибутами K_1, \dots, K_m , без побудови індивідуальних рангувань об'єктів. Багатокритеріальні об'єкти A_1, \dots, A_p розглядаються як точки метричного простору мультимножин з деякою метрикою [1], які порівнюються і упорядковуються за показником відносної близькості до найкращого (ідеального) об'єкту A_+ або найгіршого (антиідеального) A_- в цьому просторі.

Література:

- 1 Петровский А. Б. Многокритериальный выбор с уменьшением размерности пространства признаков: многоэтапная технология ПАКС 1 / А. Б. Петровский, Г. В. Ройзензон // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2012. - № 4. – С. 88 – 103.
- 2 Фуремс Е. М. Модифицированный метод экспертной номинально-порядковой классификации / Е. М. Фуремс // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2010. – № 4. – С. 81-93.

ПІДГОТОВКА ДАНИХ ЯК ОДИН З НАЙВАЖЛИВІШИХ ЕТАПІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ПРОЦЕСІВ

Манєва Р.І., Ісаков О.С., Іващенко О.В.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Process Mining (інтелектуальний аналіз процесів) - ряд методів і підходів, призначених для аналізу та удосконалення процесів в інформаційних системах або бізнес-процесів на підставі вивчення журналів подій. Методологія Process Mining дозволяє отримати знання про структуру і поведінку процесу з журналів подій, що створюються інформаційними системами під час функціонування. Беручи до уваги те, що всі сучасні автоматизовані системи володіють журналами подій, то застосування методів інтелектуального аналізу процесів є потужним інструментом для управління ефективністю на сучасному підприємстві. Виділяють такі етапи інтелектуального аналізу: підготовка даних (формування таблиць даних на основі логів системи); обробка даних (побудова схеми процесу на основі обробки таблиць); аналіз опрацьованих даних (перевірка відповідності процесів та побудова схеми окремих підпроцесів); формування рекомендацій (вдосконалення підпроцесів та формування нових вимог до бізнес процесу).

В рамках етапу підготовки даних необхідно отримати таблицю з даними певного виду, яка буде містити інформацію про процес. Одним із видів таких таблиць є вхідний журнал (лог). Кожен рядок у вхідному журналі відповідає окремій події. У свою чергу, кожна подія несе в собі інформацію про випадок, який створив її, про виконану в її рамках діяльність та час її реєстрації. Подібні журнали подій можна розглядати як сукупність випадків, а окремі випадки – як послідовності подій, що посилаються на них. Виділимо основні атрибути подій в логах: ідентифікатор випадку (caseid); діяльність (activity name); відмітка часу (time stamp); ресурс (resource); інші дані (other data).

Варто зазначити, що на етапі підготовки перед дослідником виникають проблеми повноти даних, отриманих з реальної системи, заповнення пропущених даних та перевірки достовірності даних, або їх статистичної вірогідності, правдивості. Залежно від типу порожнього атрибута можна вибрати управляюче рішення, використовуючи машинне навчання, а саме методи кластеризації, при цьому всі події розбивають на категорії і на підставі отриманих даних, використовуючи метод k-середніх, визначається категорія невідомої події, до якої вона може належати. При низькій вірогідності достовірності даних події або будь-яких інших проблемах, подія видаляється. Проблема неповноти даних вирішується поетапно, при можливості доповнюється, в іншому випадку задача вирішується видаленням всього кортежу події, а самі дані вважаються помилковими. Таким чином, підготовка даних для інтелектуального аналізу процесів може розглядатися як окрема науково-практична задача, вирішення якої забезпечить якість інформації для подальшого прийняття рішень.

МОДЕЛІ ОЦІНКИ РИЗИКІВ ПРОГРАМНИХ ПРОЕКТІВ

¹Міщенко О.О., ¹Воловщиків В.Ю., ²Шапо В.Ф.

**¹Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,**

м. Харків

²Національний університет "Одеська морська академія",

м. Одеса

Зростання розміру і складності програмних проектів (ПП) призводить до збільшення кількості і масштабів супутніх ризиків, які необхідно контролювати та управляти ними. Для цього на початковому етапі їх необхідно оцінити та ранжувати. Ефективна оцінка ризиків полягає в обчисленні певних показників ПП. Ця задача є достатньо трудомісткою для вирішення її в ручному режимі. Автоматизація процесу дозволить скоротити час на визначення небезпеки кожного ризику ПП, що послужить підставою для надання пріоритету ризикам і виявлення найбільш важливих на даний момент ризиків проекту. Виходячи з цього, процес вирішення задачі автоматизації якісної оцінки ризиків ПП є актуальним.

У роботі були проаналізовані етапи життєвого циклу ПП для виявлення найбільш ризикованої стадії розробки, яка має найбільший вплив на проект у цілому. Також було виконано дослідження щодо можливих варіантів типів ПП. Відповідно до аналізу в роботі увага приділяється етапу проектування як ключовій ланці життєвого циклу ПП для ПП типу «програмне забезпечення як послуга».

Класично оцінка ризиків може виконуватися якісно та кількісно. Найбільш точним підходом для якісної оцінки ризиків є експертний підхід, який ранжує ризики за їхніми оцінками, виставленими експертами в ході процесу. Аналіз даного підходу виявив, що методи Делфі та ранжування є найбільш адекватними для даної задачі. Вибір першого методу обумовлений можливістю отримання якісного вірогідного результату, позбавленого суб'єктивності окремих експертних думок. Також метод дозволяє оцінити узгодженість думок експертів за ризиками шляхом використання довжини довірчого інтервалу. Ключовою особливістю другого методу, який дозволяє за експертними оцінками виконати ранжування ризиків ПП, є використання коефіцієнту конкордації, значущість якого перевіряється за допомогою критерію Пірсона.

В роботі була проведена формалізація методів Делфі та ранжування, а на її основі розроблено відповідне математичне забезпечення. З використанням останнього пропонується виконувати оцінку ризиків ПП, яка може бути використана у подальшій розробці плану реагування на ризики.

Результати, що були отримані в даній роботі, у подальшому можуть бути використані для розробки компоненти програмного комплексу системи управління ризиками.

ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ПРОДУКТИВНІСТЮ ПАРОГЕНЕРАТОРА ПГВ-1000

Нікуліна О.М., Северин В.П., Коцюба Н.В.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків*

Ділянка живлення водою парогенератора (ПГ) енергоблоку АЕС з реактором ВВЕР є найважливішою з елементів теплової схеми. Від її надійності і економічної роботи залежить надійність і економічність роботи всього енергоблоку. Управління парогенератором здійснюється двома основними системами автоматичного управління (САУ) – САУ рівнем води в ПГ і САУ продуктивністю ділянки живлення, яка включає САУ рівнем. Синтез оптимальних систем управління продуктивністю парогенератора ПГВ-1000, які входять до складу енергоблоків АЕС з реактором ВВЕР-1000, є невирішеним завданням, актуальним при модернізації енергоблоків, які експлуатуються в енергосистемі України.

Мета доповіді полягає в розв'язанні задач параметричного синтезу систем автоматичного управління продуктивністю парогенератора ПГВ-1000 енергоблоку атомної електричної станції з реактором ВВЕР-1000.

Для досягнення поставленої мети побудована векторна цільова функція, що враховує всі вимоги до САУ продуктивністю ПГ. Модифіковані методи для оптимізації векторної цільової функції, які дозволяють вирішити усі поставлені завдання синтезу оптимальних САУ продуктивністю ПГ з різними типами регулятора продуктивності. Для оптимізації регуляторів продуктивності з одним варійованим параметром застосовувався модифікований метод адаптації кроку, а для оптимізації регуляторів продуктивності з декількома варійованими параметрами – модифікований метод Нелдера – Міда. Достовірність отриманих результатів синтезу оптимальних САУ продуктивністю ПГ підтверджується розв'язанням задач синтезу для інших САУ енергоблоку АЕС різними методами оптимізації.

Аналіз результатів синтезу оптимальних САУ ПГ, дозволяє зробити наступні висновки. В порівнянні з мінімізацією інтегральної квадратичної оцінки оптимізація прямих показників якості дозволила істотно підвищити швидкодію САУ продуктивністю ПГ. В результаті проведених експериментів вперше на підставі порівняння різних регуляторів в системі управління продуктивністю парогенератора обґрунтовано доцільність застосування пропорційно-інтегрального регулятора. Оптимізація показників якості САУ продуктивністю дозволила істотно поліпшити основні процеси регулювання, що протікають в ній. Практична значимість роботи полягає в тому, що розглянуті моделі та методи багатокритеріального параметричного синтезу систем управління парогенератором на основі модифікації одновимірного та багатовимірного методів оптимізації підтвердили свою ефективність і дозволяють підвищити ступінь наукової обґрунтованості технічних проєктів з удосконалення різних існуючих і перспективних систем управління з метою поліпшення якості процесів управління.

ЗАСТОВУВАННЯ МЕТОДІВ КОРПУСНОЇ ЛІНГВІСТИКИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНОГО МОЛОДІЖНОГО СЛЕНГУ

Ніфтілін В.В., Борисова Н.В.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Сучасні досягнення корпусної лінгвістики – відносно нової, проте перспективної галузі, що з'явилася у зв'язку з інтенсивним розвитком комп'ютерних технологій, – дозволяють розширити існуючі та провести раніше неможливі дослідження різноманітних соціолінгвістичних явищ. У межах даного дослідження при вивченні такого явища як молодіжний сленг методи корпусної лінгвістики використовувались для визначення частот вживання сленгових слів та виразів, отримання інформації щодо вікових особливостей їх використання. Спочатку було створено корпус повідомлень соціальних мереж та блогів, що містили сленгові слова, а потім розроблено програму автоматизованої обробки цього корпусу. Джерелом текстів для корпусу були повідомлення у пабліках «JustStory», «Убивчі Історії» та «Веселі історії з життя людей» різних соціальних мереж. Для корпусу відбиралися не всі тексти пабліків, а тільки такі, що містили інформацію щодо віку особи, яка опублікувала пост. Корпус складається з трьох підкорпусів, у кожному з яких по 30 текстових файлів. Кожний файл містить один пост. Кількість слів у файлі коливається від 150 до 300. Розмір файлів складає 2-3 Кб. Таким чином, взагалі у корпусі міститься 15000 слів. Крім корпусу повідомлень соціальних мереж та блогів, що містять сленгові слова, для роботи програми автоматизованої обробки корпусу використовувався словник молодіжного сленгу. Обсяг словника складає близько 3000 слів. Словник було отримано у результаті анкетування користувачів соціальних мереж, що проводилося з грудня 2016 по червень 2017 року включно. В результаті роботи програми автоматизованої обробки корпусу отримуємо список з найчастіше вживаних сленгових слів та виразів, а також вік людей, які їх використовують. Сортювання здійснюється за зменшенням частоти використання сленгового слова незалежно від віку особи, яка опублікувала пост. Подальший аналіз отриманої інформації дозволив сформулювати списки сленгових слів та виразів, що використовуються особами певного віку (у нашому випадку від 17 до 24 років). Наприклад, у користувачів сімнадцятирічного, двадцятирічного, двадцятидворічного та двадцятичотирьохрічного віку найпопулярнішим є слово «го» (розпочинати щось), що зустрілося відповідно 637, 521, 384, 469 разів; у вісімнадцятирічних – «анон» (анонім), 87 повторювань; у дев'ятнадцятирічних – «дру» (друїд, персонаж деяких ігор), 91 використання; у двадцятидворічних – «нік» (реєстраційне ім'я в грі, на сайті й т.п.), 198 вживань; у двадцятичотирьохрічних – «ап» (досягнення чергового рівня у грі), зустрілося 115 разів. Перспективою даного дослідження може бути вивчення часових та регіональних особливостей використання сленгових слів та виразів молоддю.

ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЦТВОМ НІТРАТНОЇ КИСЛОТИ

Подустов М.О., Пугановський О.В., Левенець А.І.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Виробництво нітратної кислоти за усіма характеристиками можна віднести до складних технологічних комплексів. Для систем управління такими комплексами при синтезі структури управління виділяють три основні складові: синтез структури об'єкта; синтез частини системи, в якій реалізуються алгоритми управління, а саме: вибір кількості рівнів, формування ієрархії системи; розподілення функцій між рівнями та елементами та між оператором та ПЕОМ; синтез структури системи передачі та обробки інформації. Для організації процесу управління реалізується універсальний набір функції, які складають функціональну структуру: інформаційні, програмування режимів управління, розрахунок управляючих дій, реалізація управляючих дій.

Найбільш часто використовуються наступні системи управління: системи управління за збуренням, системи управління за відхиленням, системи каскадного управління, системи комбінованого управління, системи адаптивного управління.

Однак необхідно підкреслити, що особливістю виробництва нітратної кислоти є одночасне протікання процесів тепло- та масообміну, хімічних перетворень, дифузії, гідродинаміки які забезпечують одержання готового продукту. Крім того при експлуатації обладнання можуть змінюватися в часі коефіцієнти теплообміну. Це пов'язано з появою непередбачуваної поведінки, тобто, невизначеності технологічного об'єкту. Якщо к цьому додати що при експлуатації системи управління змінюються параметри керування, то в цілому система управління виробництвом нітратної кислоти буде характеризуватися значною невизначеністю.

Проведений аналіз літературних даних показав, що в умовах невизначеностей в останній час для мети управління широко застосовується апарат нечіткої логіки. Перевага підходу нечіткої логіки перед класичними методами, при описуванні систем управління полягає в тому, що при цьому не використовуються аналітичні залежності. Це важливо для хімічних виробництв, коли при отриманні математичних залежностей маємо значні труднощі.

При розробці системи управління на базі нечіткої логіки необхідно вирішити наступні задачі: провести опис об'єкту управління за допомогою лінгвістичних перемінних, розробити правила, які визначають стратегію управління, розробити алгоритми управління. Основні етапи обробки інформації: фаззифікація, логічна обробка, дефаззифікація.

Розробка системи управління виробництвом нітратної кислоти на базі апарату нечіткої логіки на наш погляд дає можливість підвищити точність управління при значних невизначеностях, покращити роботу обладнання та збільшити випуск готової продукції.

АЛГОРИТМ ФОРМУВАННЯ НАЩАДКІВ МЕХАНІЧНОГО СХРЕЩУВАННЯ В ЗАДАЧІ ПОШУКУ ГАМІЛЬТОНОВА ЦИКЛУ

Прокопенков В.П., Кожин Ю.М.

Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут», м. Харків

Хромосома як можливе рішення задачі це послідовність генів як пар чисел (v, ni) , де v – номер вершини графа, ni – індекс у списку вершин її послідовників – визначає наступну вершину в ланцюгу циклу. Після механічного схрещування пари батьківських хромосом в загальному випадку формуються нащадки з зайвими та втраченими вершинами. Тобто «механічне» схрещування призводить до недопустимих хромосом. Для вирішення задачі пошуку гамільтонів циклу на графі запропоновано алгоритм схрещування який за результатом механічного схрещування формує всіх допустимих нащадків при схрещуванні. Алгоритм використовує такі змінні: *basechr* – базова хромосома, отримана в результаті механічного схрещування; *point* – точка розриву хромосом, що використана при механічному схрещуванні; *extra[]* – масив зайвих генів; *missing[]* – масив втрачених генів; *newchromosomes[]* – масив можливих хромосом нащадків; *cextra[]* – копія масиву *extra[]*; *cmisssing[]* – копія масиву *missing[]*; *curchr* – текуча хромосома, що формується. Алгоритм має наступний вигляд.

П.1. Виконати цикл з числом кроків рівним довжині масиву *missing[]*:

1.1. Сформувати копії: *cextra[]* масиву *extra[]*; *cmisssing[]* – для *missing[]*.

1.2. Сформувати *curchr* текучу хромосому на базі хромосоми *basechr*.

1.3. Виконати цикл по кожному гену хромосоми *curchr* з індексом i , починаючи з *point* до останнього:

1.3.1. Якщо ген i не останній в хромосомі і наступний ген містить вершину, що не належить до масиву зайвих вершин, і в графі є дуга, що пов'язує вершини генів i та $i + 1$, то для гена i в поле ni записати індекс послідовника вершини цього гену, інакше вийти з циклу.

1.3.2. Якщо ген i не останній в хромосомі і наступний ген містить вершину, що належить до масиву зайвих вершин то в масиві втрачених вершин шукати першу вершину яку можна записати в ген $i + 1$. Якщо така вершина є, то сформувати цей ген та видалити цю вершину з масиву втрачених вершин, перейти до п.1.3.1 для обробки наступного гену, інакше вийти з циклу.

1.3.3. Якщо ген i останній в хромосомі, перевірити є в графі дуга, що з'єднує вершину цього гену з вершиною першого гену хромосоми. Якщо є, сформувати цей ген. Додати хромосому до *newchromosomes[]*. Вийти з циклу.

1.4. Видалити елемент *missing[0]* і записати його в кінець масиву *missing[]*.

П.2. Зупинитись.

За рахунок циклічного здвигу масиву втрачених вершин алгоритм формує усі можливі хромосоми-нащадки в масиві *newchromosomes[]* які є допустимими рішеннями задачі пошуку гамільтонів циклу на графі.

СИСТЕМА ПОЗИЦІЮВАННЯ ВИКОНАВЧОГО МЕХАНІЗМУ ЕЛЕКТРОННОЇ САРЧ ДИЗЕЛЯ

Прохоренко А.О., Кравченко С.С., Таланін Д.С.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Електронні системи керування в цей час стали невід'ємною частиною сучасного двигуна внутрішнього згоряння. Застосування таких систем на ДВЗ, зокрема - на дизелях, змінило концепцію й технологію не тільки їхнього конструювання та доведення, але й удосконалювання існуючих, що перебувають в експлуатації двигунів. Із цього погляду, актуальність представленої роботи безсумнівна.

Як правило, розроблювачі й фірми, що випускають двигуни з електронною системою керування не розкривають подробиць складання й адаптації алгоритму керування двигуном. Таким чином, аналоги публікацій представленої статті відсутні, або закриті від широкого кола читачів.

У своїй роботі автори ставлять перспективне завдання впровадження електронної системи керування на автотракторному двигуні типу СМД-23, що, безсумнівнo, дозволить поліпшити його економічність й - це головне - екологічні показники.

У доповіді наведене рішення питання розробки і реалізації системи автоматичного позиціювання виконавчого механізму HEINZMANN StG 6-02V. Виконано попередню настройку електронного ПД-регулятора, яка забезпечила роботу актуатора з аперіодичними перехідними процесами з високою швидкістю. Природньо, що для завершення створення електронної системи керування необхідний значний обсяг експериментальних робіт з її доведення під конкретний двигун, про що автори роблять відповідний висновок.

РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВИПАРНОЮ УСТАНОВКОЮ З РЕЖИМОМ САМОЗАТРАВКИ

Пугановський О. В., Ікбал С. Д.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків*

Розробка сучасних систем управління базується на двох складових: системах збору інформації та інтелектуальних системах управління. Побудова таких систем потребує використання обчислювальної техніки та програмного забезпечення на основі нечіткої логіки та нейронних мереж.

Побудова систем управління технологічними процесами ускладнюється зміною характеристик обладнання за час його роботи. Наприклад, для деяких процесів проблема ефективного управління ускладнюється утворенням шару відкладень на теплообмінних елементах. Концентрування розчину хлориду кальцію, що утворюється у содовому виробництві є одним з таких технологічних процесів.

Особливістю даного процесу є швидка інкрустація теплообмінної поверхні останнього корпусу за рахунок сульфатів кальцію, що містяться у вхідному розчині. Дослідження процесів утворення осаду дало змогу розрахувати режим, при якому нерозчинні компоненти зароджуються і продовжують своє зростання не на поверхнях а у розчині. Такий режим назвали режимом «самозатравки». Складність автоматизації випарних установок, що працюють у такому режимі є необхідність одночасного керування двома потоками розчину. Один з потоків – це упарений розчин з попереднього корпусу а другий – свіжий, неконцентрований розчин.

Традиційними методами управління може бути забезпечена задана концентрація продукційного розчину шляхом установки регулятора концентрації, що впливає на відбір розчину з останнього корпусу або подачу розчину в нього. Також традиційними методами можуть бути вирішені й питання підтримки барометричного режиму. Комбінування традиційних систем керування на практиці виявило суттєвий недолік – при деяких умовах відбувається переповнення корпусів.

Для подолання цього недоліку було запропоновано два рішення. У першому варіанті використовується традиційний регулятор відбору концентрованого розчину і логічний контролер, який перемикає вплив тільки на один з потоків – неконцентрованого або попередньо упареного розчину. У другому варіанті система управління логічний контролер керований значенням концентрації розчину, що надходить у корпус.

Сучасні програмовані контролери дозволяють легко вирішувати задачу такого управління за рахунок гнучкої внутрішньої архітектури. У разі доповнення системи управління верхнім, комп'ютерним рівнем, з'являється можливість програмного керування з використанням систем інтелектуального управління. За таких умов виключається можливість переповнення випарних апаратів з одночасним дотриманням технологічного режиму «самозатравки».

ОЦІНКА ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СУПУТНИКОВИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Савченко Ю.Г., Трапезон К.О., Гузенко К.А.

Національний технічний університет України

*«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
м. Київ*

В роботі проведено дослідження з оцінки якості функціонування навігаційних комплексів GPS та GLONASS на основі базових принципів формування навігаційної задачі для визначення військових та громадських завдань[1]. Зокрема, були проведені перевірки предмет достовірності даних і малої точності визначення географічних координат громадських об'єктів в Київський та Черкаській областях України за умови різної географічної місцевості двома різними навігаційними приладами (інтерфейс Garmin і Visual GPS Application) та проаналізовано на підставі цього доцільність зміни технічних характеристик приладів задля досягнення більшої швидкості роботи, відповідно до існуючих принципів взаємної синхронізації сигналів супутників з певною точністю. Дослідження проводилось у трьох режимах функціонування: GPS+GLONASS, GPS1 та GPS2 і параметри, які враховувались під час наукового експерименту в кожній точці географічної місцевості: виміряні і реальні географічні координати та висота над рівнем моря, точний час доби коли проводилося спостереження, час (в секундах) який необхідно приладу для визначення координат, кількість захоплених супутників, середній рівень сигналу (в дБм). Додатково було проведено розрахунок точності (в метрах), за допомогою програмного забезпечення GoogleEarth, між реальними координатами місця розташування та координатами які були зафіксовані з навігаційних трекерів. Дана розрахункова точність за умови людського фактору має похибку на місцевостях: міська до 1 м, відкрита до 2 м, лісова до 4-5 м

Знайдено, що найбільш точні результати надає змішаний режим GPS+GLONASS. Наприклад, для відкритої місцевості отримана найвища точність визначення географічних координат (точка місцевості під номером 2.0), проміжок вимірювання 11:02 – 11:16, точність 0.75 м при рівні сигналу - 16.5 дБм при 9-ти супутниках. Натомість найвищу похибку отримано в умовах лісової місцевості при інтервалі спостережень 17:24 – 17:34 за київським часом, точність 66.8 м при рівні сигналу -43.05 дБм і 4-ма супутниками.

З аналізу отриманих результатів випливає, що велика точність визначення географічних координат можлива за наступних умов: відкрита місцевість; ефект пам'яті в електронному пристрої збору навігаційної інформації (теплий старт); використання комбінованого режиму визначення координат; стійкість отриманого сигналу супутників та технічних характеристик електронних пристроїв.

Література:

1. Літош В. М. Особливості визначення точності в системі GPS. / В. М. Літош, К. О. Трапезон, Т. Ф. Гумен // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи «РТПСАС-2016». — К.: РТФ, 2016. — С.153 — 155.

МНОГОЗОННАЯ МОДЕЛЬ РЕАКТОРА ВВЭР-1000 ДЛЯ СИНТЕЗА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОБЛОКА АЭС В МАНЕВРЕННЫХ РЕЖИМАХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Северин В.П., Никулина Е.Н., Лукинова Д.А.

Национальный технический университет

«Харьковский политехнический институт», г. Харьков

В связи с существенным несоответствием между выработкой и потреблением электрической энергии в энергосистеме Украины в течение суток актуальна проблема модернизации действующих энергоблоков путем создания системы автоматического управления (САУ) мощности энергоблока, которая позволит эксплуатировать энергоблоки АЭС в маневренных режимах [1, 2].

Целью доклада является моделирование систем автоматического управления мощностью реактора ВВЭР-1000 энергоблока АЭС, которая позволит эксплуатировать энергоблок в маневренных режимах суточного цикла для поддержания баланса мощности в энергосистеме Украины.

Надежная и безопасная эксплуатация энергоблока обеспечивается устойчивостью состояния реактора при возмущениях как во время работы на постоянном уровне нагрузки, так и в маневренном режиме. Количественной мерой устойчивости реактора служит аксиальный офсет (АО) – технологическая характеристика равномерности энерговыделения и количественная мера устойчивости ядерного реактора, поэтому показателем эффективности эксплуатации энергоблока с ВВЭР-1000 является минимизация отклонения АО. Максимальное допустимое отклонение АО составляет 2,59 % и является граничным, превышение его запрещается регламентом и приводит к вынужденной остановке энергоблока. Для исследования работы реактора ВВЭР-1000 в маневренных режимах необходимо развитие его модели как объекта управления с учетом АО и влияния изменения технологических параметров на устойчивость состояния реактора. Многозонная модель реактора, включающая идентифицированную модель борного регулирования, позволяет вычислить аксиальный офсет и учесть изменения технологических параметров: тепловую мощность, температуру теплоносителя на выходе из активной зоны (АЗ) реактора, температуру твэлов по высоте АЗ реактора. На основании многозонной модели реактора разработана модель реактора как объекта управления, которая позволяет уменьшить погрешности моделирования статических и динамических свойств энергоблока, а также модели систем управления реактором, позволяющие исследовать процессы управления в маневренных режимах энергоблока в течение суточного цикла.

Литература:

1. Северин В. П. Имитационное моделирование процессов в реакторе ВВЭР-1000 при регулировании мощности поглощающими стержнями / В. П. Северин, Е. Н. Никулина, Д. А. Лукинова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 55 (1276). – С. 3–7.

2. Никулина Е. Н. Моделирование переходных режимов ядерного реактора ВВЭР-1000 с учетом борного регулирования / Е. Н. Никулина, В. П. Северин, Д. А. Лукинова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 51 (1272). – С. 8–13.

ПРІОРИТЕЗАЦІЯ ЗАДАЧ У ГНУЧКІЙ МЕТОДОЛОГІЇ «SCRUM»

Смолін П.О., Іванов Л.В.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Однією з причин невдач при розробці програмного забезпечення є невірно розставлені пріоритети для окремих задач програмного проекту. Кожна задача або існуючий програмний дефект, мають різний вплив на кінцевий програмний продукт, тому виконувати поставлені задачі та виправляти помилки необхідно в певному порядку. Під пріоритезацією задач будемо розуміти процес встановлення порядку виконання задач в рамках певного проекту. Складність процесу пріоритезації полягає в тому, що одні і ті ж самі задачі на різних стадіях життєвого циклу будуть мати різні пріоритети. Пріоритезація задач також необхідна для страхування команди. Коли команда розробників, використовує нові технології або складну програмну архітектуру то шанси на успішне завершення проекту зменшуються. В умовах великих ризиків необхідно зменшувати потенційні наслідки від них. Тому команда має сконцентрувати свої сили на найбільш важливих та необхідних задачах проекту.

Існує безліч стратегій розробки програмного забезпечення, які можуть вдовольнити основні потреби майже будь-якого проекту. Але сучасні стратегії розробки програмного забезпечення не описують методики та підходи, які би дозволили вирішувати проблему пріоритезації задач, тому що кожен проект має свої особливості та цілі. В роботі розглянута пріоритезація задач для гнучкої методології Scrum, яка орієнтована на використання ітеративної стратегії розробки, з вимогами, що формуються динамічно на кожному кроку ітерації. Кожна ітерація (Sprint) – містить список задач які мають бути виконані на протязі певного часу. Не можна гарантувати обов'язкове виконання всіх задач в відведений термін. Але найбільш важливі задачі обов'язково повинні бути виконані. Постає задача визначення міри важливості кожної з задач на кожній ітерації, тобто визначення їх пріоритетів.

В якості критеріїв для оцінки важливості задач використані:

- Story Point (SP)- відносна величина, яка дозволяє оцінити розмір та складність задачі. StoryPoint оцінюють команда розробників та ProductOwner шляхом порівняння усіх задач проекту з найменшою
- Importance of the task (IT) – відносна величина, яка дозволяє оцінити важливість задач на певній стадії розробки програмного проекту. Важливість задач оцінює Scrummaster за допомогою методу парних порівнянь.

Для вирішення задачі пріоритезації задач було обрано метод аналізу ієрархій.

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ РІШЕНЬ ПРИ ВИНИКНЕННІ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТРАНСКОРДОННОГО ХАРАКТЕРУ

Ткаченко В.В.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

На практиці часто постає задача комплексного моніторингу стану навколишнього середовища для правильного визначення ситуації та прийняття вірних рішень при виникненні надзвичайних ситуацій транскордонного характеру. В цьому випадку необхідно одночасно слідкувати за усіма показниками стану навколишнього середовища. Зазвичай на будь-якій території вже є ряд мереж спостережень, що належать різним службам, але вони роз'єднані, не скоординовані в хронологічному, параметричному та інших аспектах. Для підвищення ефективності процесу прийняття рішень застосовується система підтримки прийняття рішень (СППР), налаштована на предметну область. Для реалізації СППР використовують інформаційні технології, які забезпечують процес прийняття рішення на всіх його етапах.

Практична реалізація універсального комплексу моніторингу навколишнього середовища базується на принципах сервіс-орієнтованої обробки цифрових даних. Забезпечення інтерфейсу між технічними приладами, що використовуються для моніторингу, та програмною системою обробки інформації забезпечує сервіс-орієнтована архітектура приладу (СОАП). Метою програмного компоненту СОАП є забезпечення інтерфейсу з сумісними та несумісними приладами, що дозволяє їм взаємодіяти. Концептуально СОАП виступає в якості проміжного рівня між пристроями і програмними додатками. Особливістю СОАП є те, що і програми, і прилади генерують сервісні об'єкти, які сприймаються системою. Традиційно, сервіси в рамках сервіс-орієнтованої архітектури (СОА) забезпечують інтерфейс між додатками і системами підприємства. СОАП приводить цю абстракцію до рівня комунікації приладів. Сервіси забезпечують інтерфейс між пристроями, які підтримують обробку даних та засоби управління, і додатками, які споживають дані і використовують управління. Надаючи два рівні сервісних об'єктів між додатками і пристроями, додатки можуть посилаватися на узагальнені дані і управління, а не на параметри конкретного пристрою. СОАП дозволяє будь-якому приладу бути підключеним до інформаційної системи за умови, що відповідний опис пристрою наданий системі. Якщо пристрій є «повністю сумісним», він буде автоматично завантажувати свою модель при підключенні. В іншому випадку, модель повинна бути завантажена за допомогою адміністратора. Такий підхід використовує модель приладу транслюється з XML подання у об'єктну модель, щоб її можна було використовувати у СОАП. Об'єкти всередині моделі приладу реалізуються як об'єкти абстрактних елементів моделі, в той час як параметри моделі реалізуються як об'єкти параметру.

Таким чином, розроблена архітектура СППР при виникненні надзвичайних ситуацій транскордонного характеру.

ВЕБ-КРОУЛІНГ ЯК ЕТАП РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ЗБОРУ ДАНИХ В МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТ

Чередніченко О.Ю., Янголенко О.В., Матвєєв О.М., Мозгін В.В.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Для отримання кількісних значень показників діяльності, використовують засоби веб-моніторингу. Першим етапом реалізації процесу веб-моніторингу є пошук джерел даних, а саме пошук веб-сторінок, на яких знаходяться дані, необхідні для вимірювання показників.

Пошук і збір веб-сторінок здійснюється засобами веб-кроулінгу (webcrawling), для їхнього подальшого індексування та підтримки функціонування пошукової системи. Метою обходу є швидкий та ефективний збір якомога більшої кількості корисних веб-сторінок разом з посиланнями, що їх об'єднують. Обхід здійснюється пошуковим роботом (веб-кроулером). Отримуючи стартову URL адресу, з якої розпочинається обхід, пошуковий робот завантажує відповідну веб-сторінку, видобуває із неї усі вихідні посилання та додає їх у чергу для подальшого обходу. Цей процес продовжується, поки черга не залишається порожньою. Ключовим елементом функціонування пошукового робота, який впливає на його ефективність, є стратегія обходу посилань, які зберігаються у черзі. Найчастіше застосовуються два підходи: сліпий пошук та евристичний підхід. Під час сліпого пошуку при виборі наступного URL з черги на завантаження не використовується ніякий критерій: посилання для обходу вибираються у порядку їхнього розташування в черзі. Евристичний підхід поданий алгоритмами, оснований на певному критерії вибору наступного посилання із черги для обходу.

У цьому дослідженні пропонується удосконалений за рахунок використання формальної архітектури агента алгоритм тематичного направленного пошуку веб-сторінок, які є джерелами даних для моніторингу. Тематичний направлений пошук являє собою інформаційний пошук, якому притаманні такі характеристики: простір пошуку невідомий заздалегідь; не визначено чітко інформаційну потребу користувача; існує велика кількість нерелевантних документів; неконтрольована якість відібраних документів. Оскільки значна частина посилань є нерелевантною, тобто не містить даних, необхідних для вимірювання показників моніторингу, в роботі запропоновано здійснювати оцінку перспективності веб-сторінки для подальшого пошуку, а потім на її основі приймати рішення щодо подальшого обходу посилань, які містяться на цій сторінці. Пошук продовжується, якщо веб-сторінка оцінена позитивно. Якщо веб-сторінка отримала негативну оцінку, то пошук у напрямку посилань, які на ній містяться, не здійснюється.

Таким чином, запропоновано алгоритм тематичного інформаційного пошуку джерел даних веб-моніторингу, який базується на використанні формальної архітектури агента та надає можливість здійснювати пошук відповідно до запиту системи управління.

СЕКЦИЯ 2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В МЕХАНІЦІ І СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОНКОСТЕННЫХ СТАЛЬНЫХ ПОРШНЕЙ В ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ С ВОЗДУШНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

Авраменко А.Н.

*Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины,
г. Харьков*

Повышение уровня форсирования и ужесточение требований к топливной экономичности и токсичности отработавших газов современных транспортных дизельных двигателей требует использования новых материалов для деталей камеры сгорания.

Одним из перспективных материалов для изготовления поршня является сталь. По сравнению с алюминиевыми сплавами сталь обладает более низким коэффициентом линейного расширения, что позволяет добиться значительно меньшей термомеханической деформации поршня, в первую очередь его головки. Это в эксплуатации позволяет обеспечить надежную работу двигателя с минимальными зазорами в паре поршень – цилиндр. Это положительно влияет на повышение топливной экономичности и снижение уровня токсичности отработавших газов. Также сталь существенно превышает алюминиевые сплавы по прочности и износостойкости, что положительно сказывается на ресурсе такого поршня и двигателя в целом.

С использованием метода конечных элементов проведена сравнительная расчетная оценка теплонапряженного и деформированного состояния поршня выполненного из алюминиевого сплава АЛ25 и стали 40ХН для дизельного двигателя 2Ч 10,5/12 при работе на режиме номинальной мощности.

При описании граничных условий задачи теплопроводности (для расчетного варианта из алюминиевого сплава АЛ25 использовались результаты термометрирования поршня на исследуемом режиме).

Для обеспечения надежного теплоотвода от поршня в работе рассматривался вариант струйного масляного охлаждения, что учитывалось при описании граничных условий задачи теплопроводности. Показано, что тонкостенный стальной поршень со струйным масляным охлаждением надежно работает на исследуемом режиме, уровень температур в области канавки под первое компрессионное кольцо не превышает 200 °С, а радиальная деформация головки поршня более чем в 2 раза меньше чем у штатного, выполненного из алюминиевого сплава.

ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНКИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ КУТІВ ВІЛЬОТУ У МЕТАННЯХ СПИСУ

Адашевський В.М., Дружинін Є.І., Поддубко К.С.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Спортивний результат у метанні списа - дальність польоту - визначається в основному біомеханічними характеристиками, які здатний реалізувати спортсмен, а саме: абсолютною початковою швидкістю вильоту, кутом вильоту, кутом атаки, висотою випуску списа. Великі і серйозні спори серед фахівців викликає вибір раціональних кутів вильоту центру мас списа. Пропонуються найрізноманітніші їх значення від 30 до 45 градусів. Усе це кінець кінцем позначається на необґрунтованих і відповідно неправильних рекомендаціях тренерам і спортсменам.

Таким чином необхідно було провести оригінальне об'ємне наукове дослідження, яке дозволяє визначити раціональні кути вильоту в метанні спису з метою поліпшення результатів.

Для цього складена розрахункова схема, фізико-математична модель польоту і вирішена задача динаміки польоту списа в середовищі зі змінними значеннями підйомної сили і сили опору середовища.

Аналіз отриманих результатів показав:

- без урахування і дуже малих силах опору середовища, розрахунковий раціональний кут вильоту центру мас списа приблизно $\alpha=45^\circ$,
- при великих силах опору середовища, (кути атаки більше 5°) раціональні кути вильоту центру мас списа $\alpha=30^\circ - 34^\circ$,
- з урахуванням сил опору середовища (кути атаки міні 5°) раціональні кути вильоту центру мас списа $\alpha=36^\circ - 40^\circ$,
- для середньостатистичних значень кутів атаки близьких до 2° з урахуванням сил опору середовища значення раціонального кута вильоту центру мас списа приблизно $\alpha=36^\circ$.

Використовуючи графічні характеристики для визначення дальності польоту списа при певних значеннях абсолютної початкової швидкості вильоту, початкової висоти випуску центру мас списа, початкового кута атаки для змінних у часі сил опору середовища і підйомної сили, з'являється можливість визначити раціональні початкові кути вильоту, і в процесі аналізу поліпшити результат з урахуванням конкретних фізичних даних і можливостей спортсменів.

Результати теоретичних і експериментальних досліджень, перевірені на тренувальних заняттях і змаганнях можуть бути використані як для спортсменів високого рівня, так і при підготовці в метанні списа спортсменів-новачків з метою поліпшення спортивного результату.

ВИКОРИСТАННЯ З'ЄДНАНЬ ДЕТАЛЕЙ З НАТЯГОМ З ВІДХИЛЕННЯМИ ВІД ПРАВИЛЬНОЇ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ

Андрєєв А. Г., Звонарьова А. П., Щепкін О. В.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків*

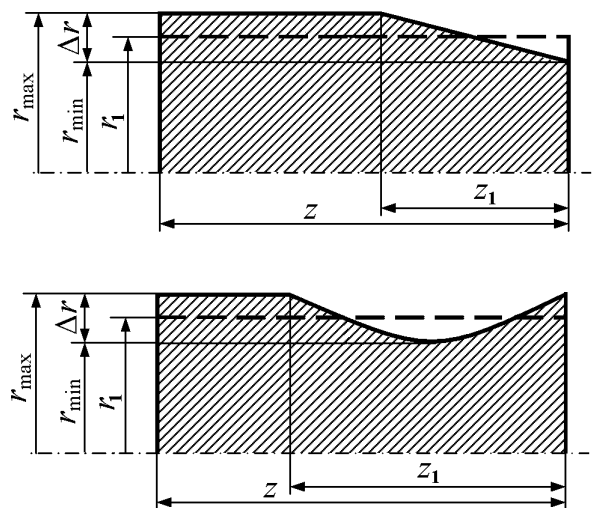
У машинах і технологічному устаткуванні знаходять широке застосування з'єднання деталей посадкою з натягом, яка дозволяє передавати значні осьові зусилля та крутячі моменти. Міцність з'єднання досягається за рахунок пружної, а іноді також пластичної деформації сполучних деталей, яка виникає при технологічному процесі складання. Із практики відомо, що з'єднання з натягом відрізняються низькою втомною міцністю валів і осей, яка є в 2-3 рази нижчою за межу витривалості гладких зразків, а межі витривалості з тріщиноутворення є приблизно в два рази нижчими за межі витривалості зі втомної міцності. Основними причинами цього є концентрація контактного тиску у торців маточин та корозія тертя на підматочинних частинах деталей, що призводить до появи тріщин і руйнування.

Міцність нерухомих з'єднань також залежить від відхилень від правильної геометричної форми сполучних деталей, таких як конусоподібність, сідлоподібність, діжкоподібність вала по довжині або еліпсоподібність поперечного перетину вала. При значних відхиленнях форми контакт у з'єднанні може бути частково відсутній, така конструкція є бракованою.

Вал з конусоподібним дефектом (див. рисунок) характеризується величиною дефекту Δr і конусністю: $k = 2(r_{\max} - r_{\min})/z_1$. У досліджуваній конструкції середній радіус вала $r_1 = 0,03$ м, зовнішній радіус втулки $0,05$ м, натяг у з'єднанні $\delta_r = 0,04 \cdot 10^{-3}$ м, розмір дефекту $\Delta r = 0,02 \cdot 10^{-3}$ м.

Найбільші напруження у конструкції виникають, якщо довжина дефекту дорівнює довжині валу $z_1 = z$. Якщо $z_1 \leq 0,0125$ м контакт у з'єднанні частково відсутній, така конструкція є бракованою. Якщо дефект має сідлоподібну або діжкоподібну форму, то при довжині дефекту $z_1 \leq 0,025$ м контакт у з'єднанні частково відсутній, конструкція є бракованою, а в зоні дефекту можуть з'явитися пластичні деформації.

Для з'єднання втулки з геометричними аномаліями зсунуто зусилля практично не залежить від довжини дефекту, якщо середній натяг у з'єднанні порівнюваних конструкцій співпадає. Практичне значення отриманих результатів полягає в придатності для використання з'єднань з натягом, які мають відхилення від правильної геометричної форми.



Моделі досліджуваного вала
з дефектами конусоподібної та
сідлоподібної форми

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНА ДВИЖЕНИЯ ЦЕНТРА МАСС РОБОТА НА БАЗЕ ТОЧЕЧНОЙ МОДЕЛИ ОБРАТНОГО МАЯТНИКА

Андреев Ю.М.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», г. Харьков*

Известно [1], что для упрощения задачи управления положением точки нулевого момента (ZMP – zero moment point) двуногий андроподобный робот представляется моделью однотоечного (с массой туловища) обратного маятника с невесомым телескопическим шарниром (невесомой опорной ногой). Это обеспечивает учет того факта, что походки проектируются так, чтобы центра таза, а, значит, и все туловище при ходьбе не изменяли высоту над плоскостью ходьбы. Поэтому точечная масса m , моделирующая всю массу робота, во все время движения находится в горизонтальной плоскости на высоте z_C над этой поверхностью.

Из равенства нулю суммы моментов силы тяжести и силы инерции точечной массы относительно точки опоры маятника (ноги) O – начала неподвижной системы координат следуют 2 уравнения

$$x_C - \frac{z_C}{g} \ddot{x}_C = x_{ZMP}, \quad y_C - \frac{z_C}{g} \ddot{y}_C = y_{ZMP}. \quad (1)$$

Эти уравнения позволяют найти координаты ZMP (x_{ZMP} , y_{ZMP}) по координатам центра масс (x_C , y_C , z_C) робота и, наоборот, решив эти дифференциальные уравнения, можно найти закон движения центра масс робота, если заданы координаты ZMP.

В докладе предлагается решать вторую из указанных задач путем представления аналитически заданных законов изменения координат ZMP рядом Фурье с исключенным линейным трендом. Законы изменения координат ZMP строятся на основе следовой дорожки, размеров ступней робота, временных и геометрических параметров проектируемой походки. Для определения постоянных интегрирования рассматривается двухточечная задача для моментов времени, когда значения координат центра масс робота и координат ZMP совпадают (середина двухопорной фазы ходьбы, где вторые производные \ddot{x}_C , \ddot{y}_C равны нулю). Решение (1) для x_C представляется суммой линейного тренда, ряда Фурье и гиперболическими функциями

$$x_C = A_x \operatorname{ch}(\omega t) + B_x \operatorname{sh}(\omega t) + \alpha_x t + \beta_x + \sum_{i=0}^{K_g} \alpha_{xi} \cos\left(\frac{2\pi i}{T} t\right) + \beta_{xi} \sin\left(\frac{2\pi i}{T} t\right) \quad (2)$$

с коэффициентами, определяемыми из краевых условий двухточечной задачи (A_x и B_x), из коэффициентов линейного тренда (α_x , β_x) и коэффициентов (α_{xi} , β_{xi}) разложения в ряд Фурье правой части.

Литература:

1. S. Kajita. Biped walking pattern generation by using preview control of zero-moment point / S. Kajita, F. Kanehiro, K. Kaneko [and etc.] //in Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics & Automation, Taipei, Taiwan, September 14-19, 2003. – pp. 1620-1626.

ДИНАМІКА СИСТЕМ ТІЛ ТА ІНВАРІАНТНІСТЬ МІР РУХУ

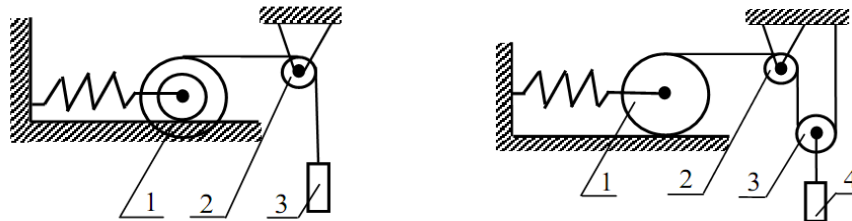
Бабуджан Р., Красій Д., Лавінський Д.В, Морачковський О.К.

Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут», м. Харків

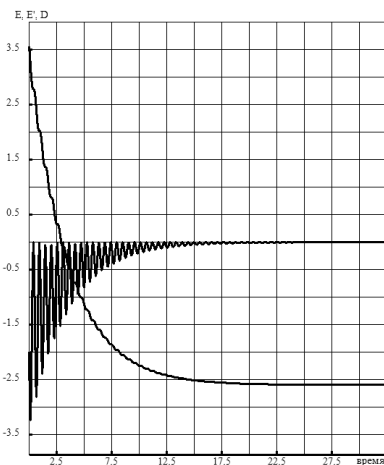
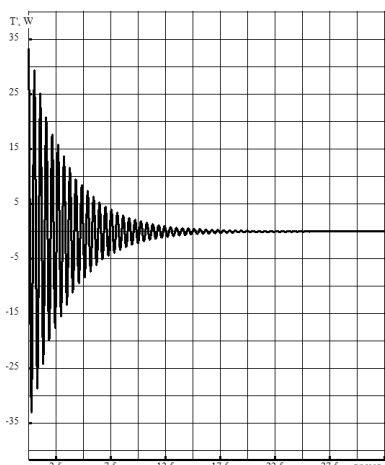
Наведено результати аналізу динаміки руху систем тіл, що одержані при виконанні курсових робіт з теоретичної механіки для спеціальності 113 “Прикладна математика” за спеціалізацією «Комп’ютерна механіка», за допомогою комп’ютерних досліджень на базі програмного комплексу «КІДІМ».

Для механічних систем, які показано на рисунку:



складені рівняння руху відносно незалежної координати, встановлено закони руху при відомих початкових умовах $x_4|_{t=0} = x_{40}$, $\dot{x}_4|_{t=0} = v_{40}$, та завдяки застосуванню комп’ютерних технологій здійснено аналіз динаміки руху систем тіл. Дослідження з динаміки виконувалось при варіюванні часу $t [0 \leq t \leq t_*]$, де t_* – час затухання коливань.

Складені рівняння руху механічних систем тіл з урахуванням зв’язків між координатами, за якими визначався рух системи: для першої – $x_1 = x_3 r_0 / (r_1 + r_0)$; $f_1 = x_3 / (r_1 + r_0)$; $f_2 = x_3 / r_2$; для другої – $x_3 = x_4$; $f_3 = x_4 / r_3$; $f_2 = 2x_4 / r_2$; $x_1 = 2x_4$; $f_1 = 2x_4 / r_1$. Для першої системи незалежною координатою є переміщення тіла 3: $q = x_3$, для другої – тіла 4: $q = x_4$. Тому скалярні міри руху систем мають вид: кінетична енергія: $T_{1,2} = 1/2 * M_{1,2} * \dot{q}^2$; потенційна та повна енергії: $\Pi_1 = 1/2 * C q^2 - m_3 g q$; $\Pi_2 = 1/2 * C q^2 - m_3 g q - m_4 g q$; $E_{1,2} = T_{1,2} + \Pi_{1,2}$. Потужність зовнішніх та внутрішніх сил пружності та в’язкості $W_1 = m_3 g \dot{q} - 1/2 C q \dot{q} - u \dot{q}^2$; $W_2 = m_4 g \dot{q} + m_3 g \dot{q} - 1/2 C q \dot{q} - u \dot{q}^2$. Потенціал сил в’язкості - функція Релея: $R = 1/2 * u \dot{q}^2$.



Інваріантність мір руху встановлені за відповідними теоремами про зміну повної та кінетичної енергії $E' = T' + \Pi' = D$, $D = -2 * R$, $T' = W$.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТАЛИХ НЕПЕРІОДИЧНИХ КОЛИВАНЬ НЕЛІНІЙНОЇ СИСТЕМИ

Бєломитцев А.С., Дружинін Є.І.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м Харків*

Розглядаються сталі неперіодичні коливання, що виникають у цілком детермінованій нелінійній системі, рух якої описує диференціальне рівняння

$$\dot{y} = \varphi(t, y), \quad (1)$$

де y - $2n$ -мірний вектор стану, φ - $2n$ -мірна вектор-функція,

T_1 -періодична по явно вхідному часу t : $\varphi(t, y) = \varphi(t + T_1, y)$.

Найпростіші усталені рухи такої системи – це періодичні коливання, біфуркації яких призводять до появи більш складних сталих рухів. Визначення періодичного розв'язку рівняння (1) може бути зведено до розв'язання неявно заданого рівняння:

$$y_T(y_0) - y_0 = 0, \quad (2)$$

де $y_0 = y(0)$, $y_T = y(T)$ - вектори стану системи в моменти часу $t = 0$ і $t = T$, $T = rT_1$.

Одним з найбільш ефективних методів розв'язання рівняння (2) є ітераційний процес методу Ньютона. Він дозволяє також обчислювати мультиплікатори λ_i рівняння у варіаціях, які використовуються для оцінки стійкості і аналізу біфуркацій періодичних коливань. Втрата стійкості періодичного розв'язку рівняння (1) пов'язана з виходом одного або пари мультиплікаторів з круга одиничного радіусу. У випадку, коли з'являється дійсний мультиплікатор $\lambda_i < -1$, відбувається біфуркація подвоєння періоду стійкого розв'язку. Послідовність таких біфуркацій, що супроводжується зменшенням у геометричній прогресії інтервалів існування стійких розв'язків подвоєного періоду, підкоряється універсальності Фейгенбаума – за цим сценарієм виникають хаотичні коливання. У випадку появи пари комплексно-спряжених мультиплікаторів $|\lambda_i| = |\lambda_{i+1}| > 1$ відбувається біфуркація народження майже періодичних коливань. Біфуркації майже періодичних коливань, що супроводжуються руйнуванням інваріантного тору, який у фазовому просторі відповідає майже періодичним коливанням, також приводять до виникнення хаотичних коливань. Наведені типи коливань були виявлені при розрахунковому дослідженні силових передач машин, джерелом збудження яких є двигун внутрішнього згорання.

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ТРІЩИНИ ПРИ ПОВЗУЧОСТІ

Бреславський Д.В., Козлюк А.В.
*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Умови експлуатації високонавантажених конструктивних елементів сучасного енергетичного та авіаційно-космічного машинобудування часто характеризується високими температурами. При цьому в матеріалі таких елементів розвиваються деформації повзучості, які супроводжуються накопиченням прихованої пошкоджуваності. У певний момент часу мікродофекти зливаються у зародок макротріщини й починається етап руйнування елемента шляхом її розповсюдження. Однією з важливих задач, що виникають при цьому, є оцінювання остаточного часу життя: для різних матеріалів та форм конструктивних елементів він може чи складати лічені хвилини, чи бути співмірним з часом прихованого руйнування. В останньому випадку у зв'язку з коштовністю конструкцій, що розглядаються, виникає можливість продовження їхнього ресурсу за умов оцінювання часу повільного розвитку тріщини.

Доповідь присвячено викладенню методу розрахунку, опису алгоритмів та розробленого програмного забезпечення для розв'язання двовимірних задач повзучості та руйнування. Надано математичну постановку задачі. Метод розрахунку базується на поєднанні методу скінчених елементів для розв'язання крайових задач та прогнозу-корекції для початкових. Викладено алгоритм виключення «зруйнованих» скінчених елементів чи їхніх груп, який потребує перебудови матриці жорсткості системи з відповідними змінами в геометрії моделі та прикладеного навантаження, перезапису всіх поточних значень компонентів векторів напружень, деформацій, переміщень й параметру пошкоджуваності для різних моментів часу. Алгоритм працює до моменту повного розділення на частини конструктивного елемента.

Отримані дані чисельного скінченноелементного моделювання поточної довжини тріщини та її залежності від часу використані для визначення параметрів, які входять до рівняння, що описує розвиток тріщини. До моделювання залучено диференціальне рівняння першого порядку. Обговорюється методика визначення констант.

Роботу даної методики продемонстровано на прикладах пластин з надрізами з жароміцних нікелевих та алюмінієвого сплаву. Обговорюються отримані дані з чисельної збіжності розв'язків як для скінченноелементних моделей, так й при інтегруванні за часом.

Отримано значення часу закінчення прихованого та повного руйнування, місця виникнення макродофектів, поточну геометрію зруйнованих пластин та напрямок розвитку макротріщини. Наведено результати інтегрування диференціального рівняння руху тріщини, надано порівняння цих даних з даними скінченноелементного моделювання.

БЛОК МОДЕЛЮВАННЯ СУПУТНИКОВИХ ВИМІРЮВАНЬ У ПАКЕТІ SANACAD

Бреславський Д.В., Успенський В.Б., Погорілов С.Ю., Пугачов Р.В.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Для надання допомоги при проектуванні програмно-математичного забезпечення (ПМЗ) навігаційних систем (НС) науковцями НТУ «ХПІ» розробляється пакет SanaCad, що є деяким прототипом системи автоматизованого проектування ПМЗ НС різного типу.

Сценарій роботи з пакетом наступний. Користувач вибирає тип рухомого об'єкту, для якого передбачається розробка НС, задає характерні параметри об'єкта і його руху. Далі, з числа пропонованих вибираються інерціальні датчики (гіроскопи і акселерометри) і додаткові вимірювачі (висотомір, одометр, лаг і т.д.) майбутньої навігаційної системи з типовими помилками вимірювань. Після цього засобами пакета здійснюється моделювання руху об'єкта по заданій траєкторії з генерацією квазіреальних вимірювань датчиків, імовірно наявних на об'єкті, а також еталонних (істинних) значень координат і кутових параметрів об'єкта, які використовуються для оцінки ефективності роботи НС.

Згенеровані дані оформляються в файл для незалежного від пакета використання, або направляються в блок алгоритмів навігації і комплексування. Блок алгоритмів навігації і комплексування конфігурується користувачем в залежності від типу навігаційної системи: інерціальної або інерціально-супутникової. При цьому вибираються основні алгоритми функціонування НС з числа запропонованих. Далі пакет моделює роботу зконфігурованого користувачем ПМЗ НС.

У доповіді розглядається блок моделювання супутникових вимірювань для інерціально-супутникової навігаційної системи зі складу пакета SANACAD. Принцип дії даного блоку полягає в рішенні зворотної (по відношенню до навігаційної) задачі відновлення значень вимірюваних параметрів за відомими параметрами руху об'єкта і навігаційних космічних апаратів (НКА).

В якості вихідних даних використовуються: параметри руху об'єкта, отримані в результаті моделювання руху по заданій траєкторії; ефемериди НКА; коефіцієнти моделі обліку іоносферних і тропосферних затримок поширення радіосигналу; інформація про стан шкал часу НКА і навігаційної системи.

Джерелом ефемерид НКА, інформації про стан шкал часу НКА і навігаційної системи, а також коефіцієнтів моделі обліку іоносферних і тропосферних затримок можуть бути наявні результати проведених раніше натурних експериментів з використанням навігаційних приймачів, а також дані, що публікуються на офіційних сайтах відповідних супутникових навігаційних систем (GPS, ГЛОНАСС, BeiDou).

ЧИСЕЛЬНЕ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ КОРОТКОЧАСНОЇ ПОВЗУЧОСТІ Й ПОШКОДЖУВАНOSTI ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ

Бреславський Д.В., Метельов В.О.

***Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків***

Дослідження незворотного деформування та прихованого руйнування листових матеріалів та виготовлених з них конструктивних елементів є складною задачею, необхідною на етапі проектування у різних галузях промисловості. Великою мірою її складність пов'язана з анізотропією властивостей таких матеріалів. У багатьох випадках металеві матеріали, включно з конструкційними сталями, виявляють властивості повзучості й при кімнатних температурах, а її перебіг, особливо у технологічних процесах виробництва листових заготовок, є короткочасним.

В роботі отримані рівняння стану ортотропної повзучості та пошкоджуваності при періодичному навантаженні для матеріалів, що виявляють суттєву першу ділянку неусталеної повзучості. Створено метод розрахунку ортотропної повзучості при плоскому напруженому стані з урахуванням початкових пластичних деформацій. Отримано експериментальні результати з короткочасної ортотропної повзучості одновісних зразків, вирізаних зі сталевих листів у трьох напрямках – вздовж, поперек прокатки та під кутом 45 градусів, та пластин з отворами зі сталі 3 при кімнатній температурі. Знайдено значення констант матеріалу, які входять до запропонованих рівнянь стану.

Проведено чисельне моделювання як при аналізі достовірності результатів, так й для встановлення закономірностей деформування та прихованого руйнування. Порівняння експериментальних та розрахункових результатів показало задовільну можливість використання запропонованих рівнянь та модернізованого програмного комплексу для розрахунків змінювання напружено-деформованого стану. Виконано чисельне оцінювання повзучості сталевих листів в технологічному процесі прокатки [1].

Розроблений метод чисельного розрахунку та експериментального дослідження короткочасної повзучості й модернізований програмний комплекс для розрахунків повзучості та пошкоджуваності при плоскому напруженому стані може бути застосованим при чисельному моделюванні та проектуванні в енергетичному, авіаційно-космічному, хімічному машинобудуванні та у металургійній промисловості.

Література:

1. Breslavsky D.V. Consideration the influence of residual stresses and creep strains on rolling the steel sheets / D.V. Breslavsky, V.O. Mietielov // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Динаміка і міцність машин. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 46 (1218). - С. 77-80.

МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПОЛІПРОПІЛЕНОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ІНЕРЦІЙНОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО БЛОКУ

Бреславський Д.В., Пащенко С.О.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків*

Застосування полімерних матеріалів в аерокосмічній галузі при розробці елементів конструкцій приладів та устаткування штучних супутників Землі (ШСЗ) набуває тенденції широкого розповсюдження. Такі елементи, встановлені на борту ШСЗ, піддаються впливу температурно-силових та радіаційних полів. Одним з широко застосовуваних полімерів є поліпропілен, який використовується як у волоконно-оптичних гіроскопах, так й в конструктивних елементах літальних апаратів. Важливим є оцінювання процесу радіаційної деградації поліпропілену, який разом з впливом повзучості та пов'язаної з нею пошкоджуваності може істотно обмежувати ресурс приладів та елементів устаткування.

Доповідь присвячено обговоренню методу аналізу впливу температурно-силових та радіаційних полів на деформування та довготривалу міцність елементів приладів та конструкцій, розташованих на борту ШСЗ. Рівняння стану, залучені до моделювання, передбачають врахування дії термопружних деформацій, деформацій радіаційного розпухання, теплової та радіаційної повзучості, пошкоджуваності різних типів. Задачі нестационарної теплопровідності та повзучості розв'язуються методом скінченних елементів та різницеvими методами інтегрування за часом. Застосовано трьохвимірний восьмивузловий скінченний елемент. Розроблений метод реалізовано у вигляді двох програмних комплексів «FEM Temperature» та «FEM 3d Creep-Damage», написаних алгоритмічною мовою C++.

Розглянуто моделювання температурного режиму та напружено-деформованого стану елемента котушки волоконно-оптичного гіроскопу, виготовленого з поліпропілену Morlen HP400R. Проаналізовано різні режими роботи приладу, що характеризуються відповідними тривалостями нагрівання-охолодження. Встановлено вплив циклічності навантаження внаслідок змінювання температурних напружень при русі ШСЗ навколоземною орбітою на повзучість та пошкоджуваність поліпропіленового елемента. Виконано оцінювання впливу радіаційного космічного опромінювання на його довготривалу міцність.

Обговорюються результати чисельного аналізу напружено-деформованого стану в умовах повзучості та радіаційного опромінювання полімерних амортизаторів. Виконано аналіз впливу неспіввісності розташування обладнання на деформування та пошкоджуваність їхнього матеріалу. Встановлено, що при незворотному деформування амортизатору має місце істотний перерозподіл напружень в його матеріалі. Обговорюються шляхи забезпечення необхідної працездатності елементів при заданому ресурсі.

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕСУРСА РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ГИДРОТУРБИН

Водка А.А., Трубаев А.И.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», г. Харьков*

Практика эксплуатации показывает, что надежность работы резьбовых соединений во многом определяет ресурс гидротурбин. Для достоверного прогнозирования ресурса резьбовых соединений гидротурбин (болтовых соединений рабочих колес, лопастей, шпилек крепления подпятников) необходимо иметь данные о напряженном состоянии элементов силового крепежа на переходных режимах работы гидроагрегата [1]. Эту информацию можно получить путем экспериментального определения гидродинамических нагрузок, действующих на рабочее колесо и последующего решения задачи о напряженно-деформированном состоянии резьбового соединения. В качестве альтернативного можно использовать подход, базирующийся на экспериментальном определении напряженного состояния болтового соединения во время пуско-наладочных работ гидроагрегата. Проведены лабораторные эксперименты, которые подтверждают возможность реализации этого подхода на реальном гидроагрегате в условиях воздействия электромагнитных помех и различного рода акустических шумов.

Методика предполагает построение полной трехмерной конечно-элементной модели ротора гидроагрегата (ГА) без учета резьбовых соединений; определение собственных частот и форм колебаний ротора; проведение спектрального анализа зависимостей крутящего момента и осевого усилия на валу ГА и сопоставление их частот с собственными частотами ротора; построение модели фрагмента ротора ГА, содержащего исследуемое резьбовое соединение. Модель резьбового соединения выполняется с учетом предварительной затяжки и контактного взаимодействия сопрягаемых деталей в области головки болта и в резьбе.

Предлагается вероятностная модель накопления повреждаемости, учитывающая деградацию механических свойств материала и статистические данные об эксплуатации гидроагрегатов. Получены результаты, свидетельствующие о существенном влиянии снижения предела выносливости материала на ресурс силового крепежа. Для определения деградации механических свойств материалов элементов силового крепежа необходимо проведение усталостных испытаний образцов, изготовленных из деталей, эксплуатировавшихся длительное время (30-50 лет).

Предлагаемая методика позволяет повысить надежность работы резьбовых соединений и разработать нормативно-техническую документацию для силового крепежа гидротурбин.

Литература:

1. Водка А.А., Трубаев А.И. Методика прогнозирования ресурса болтовых соединений рабочих колес гидротурбин Вибрация гидроагрегатов гидроэлектрических станций. – Харків.: Вісник НТУ «ХПІ», 2013. – №13(987). – С. 115–12

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВЛАСНИХ КОЛИВАНЬ ПРУЖНИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ТА КОНІЧНИХ ОБОЛОНОК, ЧАСТКОВО ЗАПОВНЕНИХ РІДИНОЮ

Гнисько В.І., Науменко Ю.В., Тишковець О.В.

*Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Проблема плескань рідини в контейнерах і баках знаходиться в центрі уваги багатьох дослідників. Інтенсивний рух вільної поверхні рідини, що знаходиться в резервуарі під дією раптово прикладеного навантаження, може призвести до руйнування конструкції або до втрати стійкості. Особливої уваги заслуговує вивчення сумісного впливу рухомої рідини та пружності оболонки, в якій рідина зберігається.

В роботі надано аналіз низькочастотних коливань циліндричних, складених циліндрично-конічних та усічених конічних пружних оболонок, заповнених рідиною. Припускається, що рідина є ідеальною нестисливою, а її рух є безвихровим. В цих умовах існують потенціал швидкостей, який задовольняє рівнянню Лапласа. Тиск рідини на поверхнях резервуару визначається з лінеаризованого інтегралу Коши-Лагранжа. Потенціал швидкостей відшукується у вигляді суми двох невідомих потенціалів: перший – відповідає коливанням пружної оболонки без урахування сили тяжіння, а другий – описує коливання рідини в жорсткій оболонці з урахуванням сили тяжіння. Обидва потенціали розкладаються в ряди по відповідним базисним функціям, які є розв'язками мішаних крайових задач для рівняння Лапласа; для їх обчислення використовується інтегральне подання, засноване на другій тотожності Гріна. При застосуванні прямого формулювання методу потенціалу, отримані системи сингулярних інтегральних рівнянь. Задачу гідропружності розв'язано з використанням комбінації одновимірних методів граничних та скінченних елементів. Цей підхід істотно скорочує час розрахунків і відкриває нові якісні можливості для моделювання динамічної поведінки оболонкових конструкцій.

Аналіз результатів показав наступне: різниця між частотами плескань для циліндричної і складеної циліндрично-конічної оболонок виявилась істотною лише у випадку малої циліндричної частини в складеній оболонці; нижча частота відповідає першій неосесиметричній моді для обох типів оболонок; некоректним виявилось припущення про поділення спектру частот на два спектри: частоти саме плескань та частоти коливань пружних стінок оболонки; з'ясовано, що частоти плескань можуть чергуватися з частотами коливань пружних стінок.

СТІЙКІСТЬ СТОЯЧИХ ХВИЛЬ У НЕЛІНІЙНИХ ЛАНЦЮГАХ

Голоскубова Н.С., Міхлін Ю.В.

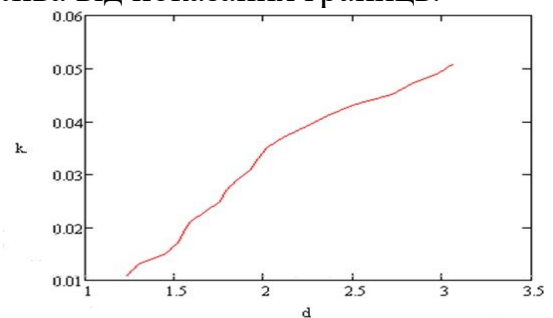
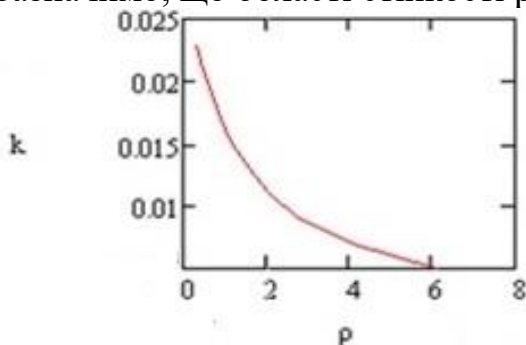
Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут», м. Харків

Важливим кроком проектування нанороботів є їх проектування на основі молекул ДНК, оскільки вони можуть бути використані як матеріал для створення нанооб'єктів. У даній роботі розглядається модель ДНК Peyrard-Bishop-Dauxois (модель PBD) [1]. Ця модель являє собою два ланцюжки жорстких дисків, пов'язаних один з одним поздовжніми та поперечними пружинами. Взаємодія протилежних дисків різних ланцюжків описуються потенціалом Морзе. Для найбільш адекватного опису взаємодії між сусідніми дисками кожного з ланцюжків вводиться ангармонійний потенціал взаємодії.

Метою даної роботи є дослідження на основі вказаної моделі стійкості локалізованих стоячих хвиль. Отримано границі локалізації цих хвиль у просторі параметрів системи.

Локалізовані стоячі хвилі збуджуються початковим зсувом або швидкістю деякого обраного диска (або осередку з двох протилежних дисків) в моделі PBD. Стійкість рішення аналізується чисельно-аналітичним підходом, який є наслідком відомого визначення Ляпунова щодо стійкості руху [2]. А саме, значення кінетичних енергій (або швидкості) вибраного диска та сусідніх елементів порівнюються. Нестійкість фіксується, якщо більш ніж 10 відсотків від початкової кінетичної енергії переходить в сусідні диски. Розрахунки проводяться в точках деякої обраної сітки у площині параметрів системи до тих пір, поки границі областей стійкості/нестійкості (в обраному масштабі) на цій площині не стабілізуються. Це є основним критерієм для вибору часу розрахунку. Результати розрахунків представлено на рис., де показані границі областей стійкості/нестійкості в площині параметрів системи: k – константа взаємодії між парами підстав уздовж кола, ρ – параметр ангармонізму, d – енергія дисоціації полінуклеотидних ланцюжків. Інші параметри системи зафіксовано. Зазначимо, що області стійкості розташовані зліва від показаних границь.



Література:

- [1] Peyrard M. Nonlinear dynamics and statistical physics of DNA. *Nonlinearity*, 2004, Vol. 17, R1–R40.
- [2] Yu.V.Mikhlin, T.V.Shamatko and G.V.Manucharyan. Lyapunov definition and stability of regular or chaotic vibration modes in systems with several equilibrium positions. *Computers and Structures*, 2004, 82, 2733–2742.

МОДЕЛЮВАННЯ СИЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ДВОХНОЖИЧНОГО ПІДЙОМНОГО МЕХАНІЗМУ

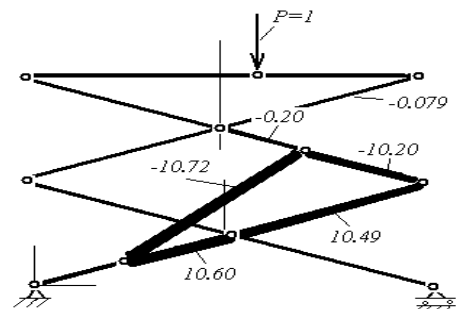
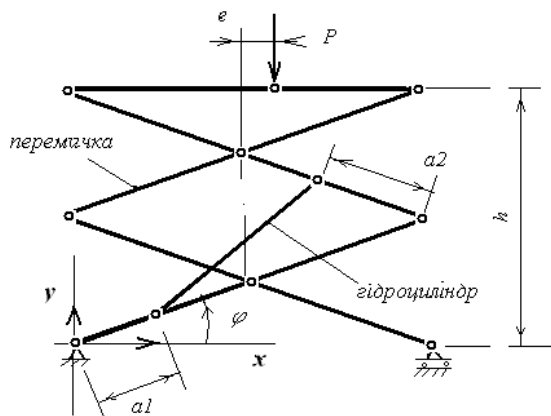
Грищенко В. М.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

В багатьох сферах виробничої діяльності виникає необхідність виконання робіт по підніманню вантажів на різні висоти. Існує багато різновидностей підйомних пристроїв. Устаткування такого типу повинно мати значний запас міцності.

В роботі розглядається алгоритм моделювання роботи зручних та універсальних підйомних механізмів - ножичних підйомників (НП). І зокрема, розрахунки їх силового навантаження. Пристрій працює по принципу ножиць: платформа піднімається вертикально вгору за рахунок роздвигання та складання опор. На базі методу скінченних елементів (МСЕ) приводиться дискретизація конструкції, формування рівнянь окремих СЕ та всієї конструкції типової моделі ножичного підйомника. Прийнято, що перемички та гідроциліндр здійснюють згинально – поздовжню деформацію в своїй площині. Проводиться аналіз НДС на різних стадіях підйому. Алгоритм можна використовувати для подібних конструкцій.

Приведені результати обчислень деформованого стану НП, розподілу силового навантаження при підйомі вантажу на декілька метрів. Показана важлива роль структури конструкції на формування величин та характер розподілу максимальних зусиль по її ланкам. Приведена залежність тягового зусилля в гідроциліндрі від висоти підйому вантажу.



Література:

1. Ножичні підйомники [Електронний ресурс].-Режим доступу http://kievlift.com.ua/ru/nozhnichnyepodemniki/?gclid=Cj0KCQiAgZTRBRDmARIsAJvVWAAt12J4WNR7i26_GZkncjdIKTgd7Tamultpyn0v8jD9AAQXZrjSl_oaAnSuEALw_wcB.

ЗАДАЧА ВІДЛАШТУВАННЯ СПЕКТРУ ЧАСТОТ СИСТЕМИ ТУРБОНАДДУВУ ДВИГУНА 6ТД

Дружинін Є.І., Беломитцев А.С.

***Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків***

Необхідність створення складних сучасних машин при мінімальних витратах на їх конструювання та доведення вимагає розробки універсальних, ефективних і досить точних методів нелінійного аналізу і синтезу.

Існуючі в даний час методи розрахунку гідромеханічних систем не дозволяють проводити в повному обсязі аналіз їх динаміки, що ускладнює вирішення низки нагальних питань практики, а саме, автоматизацію проектування і доведення силових передач з гідроприводами і диференціальними механізмами, до яких відноситься система турбонаддуву двигуна 6ТД, прогнозування їх динамічних якостей, прийняття обґрунтованих рішень при зіставленні аналогічних конструкцій і т. п. При цьому, вирішення задачі відлаштування спектру частот гідромеханічної системи з робочого діапазону частот обертання ДВС є завданням першорядної важливості, тому що вдале вирішення цієї задачі забезпечує якісну динаміку функціонування системи в цілому. Викладені обставини визначають актуальність даної проблеми.

Задача відлаштування спектру частот гідромеханічної системи з робочого діапазону частот обертання ДВС передбачає визначення скелетних кривих. В даний час це питання не має свого остаточного рішення, в наслідок чого існує сукупність різноманітних методів рішення нелінійної задачі, кожний з яких в порівнянні з другими має свій ряд переваг і недоліків. Найбільш розроблені методи розрахунку скелетних кривих, засновані на методі гармонійної лінеаризації.

У роботі досліджується питання вибору оптимального алгоритму побудови скелетних кривих в заданому діапазоні амплітуд деформацій спочатку при наявності в системі однієї нелінійної ділянки, а потім розглядається варіант наявності в системі кількох нелінійностей. Також порівнюються між собою методи вирішення операторного рівняння при малих коливаннях (коли системи ведуть себе як лінійні) та достатньо великих рівнях коливань, коли має місце істотна залежність еквівалентних жорсткостей від амплітуд нелінійних ланок.

Зроблено висновок, про те, що з ціллю спрощення реалізації алгоритму визначення скелетних кривих на основі структурних матриць необхідно вибирати переміщення нелінійних ділянок в якості узагальнених координат. В цьому випадку деформація одного з інерційних елементів, що є прилеглим до нелінійної ділянки буде виражатися через дві узагальнені координати, що відповідним чином змінить матрицю інерції гідромеханічної системи.

ВИЗНАЧЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНОЇ СКЛАДОВОЇ СИЛИ НАБІГАЮЧОГО ТРИВИМІРНОГО ПОТОКУ, ЩО ДІЄ НА ЛОПАТКУ КОМПРЕСОРА

Карпик А.О.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Основним джерелом збудження коливань робочих лопаток газотурбінного двигуна є газодинамічна сила, що має неоднорідний характер в окружному напрямі. Дана неоднорідність проявляється у вигляді неоднорідних полів тиску та швидкості, в яких працює аеродинамічна решітка. Для забезпечення міцності лопаток в умовах тривалої роботи актуальним є дослідження структури потоку в міжлопаткових каналах з метою виявлення нестационарної складової газодинамічної сили.

В даній роботі було проведено чисельне моделювання тривимірного нестационарного потоку в аеродинамічній решітці. Чисельні результати були отримані в програмному комплексі F.

В якості математичної моделі течії виступає система рівнянь Нав'є-Стокса, осереднених за Рейнольдсем (RANS-модель). Основні рівняння доповнені моделлю турбулентності $k-\omega$ SST Ментера, що найбільш якісно описує вихровий рух поблизу поверхні лопатки.

При розв'язанні задачі для урахування нестационарної взаємодії лопаткових вінців проводився розрахунок в усіх міжлопаткових каналах зі зміною взаємного положення решіток на кожному кроці за часом.

В результаті моделювання отримані газодинамічні параметри течії у вигляді полів тиску та швидкості в різні моменти часу. Отримана детальна картина характеру течії на корені та периферії лопатки. Виявлені несприятливі зони потоку у вигляді зворотної течії та відриву потоку, що можуть бути викликані наявністю радіального проміжку на периферії та вихровим слідом за лопатками вхідного направляючого апарату.

Результати були отримані для 24 моментів часу, що характеризують один оберт робочого колеса. Даний підхід дозволяє виділити нестационарну складову течії та представити її у вигляді складових гармонік розкладанням в ряд Фур'є. Для робочого колеса, що обертається, складові в ряді є гармоніками збудження. Дана газодинамічна сила діє з кутовою швидкістю ω , що дорівнює частоті обертання робочого колеса.

Визначення аеродинамічної сили, що діє на поверхню лопатки, дозволяє провести аналіз її міцності та уникнути несприятливого режиму резонансної поведінки лопаткового апарату та набігаючого потоку.

ОЦІНКА ВПЛИВУ ТИПУ РУШІЙНОЇ СИСТЕМИ МІЖОРБІТАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО АПАРАТУ НА ВЕЛИЧИНУ МАСИ КОРИСНОГО ВАНТАЖУ ПРИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПЕРЕЛЬОТІВ МІЖ БЛИЗЬКИМИ ЕЛІПТИЧНИМИ ОРБІТАМИ

Кіфоренко Б.М.¹, Ткаченко Я.В.¹, Васильєв І.Ю.²

¹*Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України,*

²*Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ*

Електроракетні рушійні системи (ЕРС) відносяться до класу рушійних систем малої тяги і мають ряд важливих переваг перед традиційними рідинними та твердопаливними ракетними двигунами. А саме: малу витрату робочої речовини на одиницю тяги, кращу керованість та здатність неперервно функціонувати протягом тривалого часу. Використання ЕРС в якості маршових дозволяє суттєво збільшити масу корисного вантажу міжорбітального транспортного апарату (МТА) при виконанні міжорбітальних перельотів. Проблема максимізації маси корисного вантажу МТА, який здійснює орбітальне маневрування, є однією з основних проблем сучасної космонавтики. Це зумовлює необхідність розробки методів побудови перехідних траєкторій, рух по яким забезпечує максимум маси корисного вантажу, з одночасною оптимізацією режимів роботи та параметрів ЕРС.

Найбільш суттєві результати в розробці методів розв'язання проблеми сумісної оптимізації параметрів двигуна, керування рухом та перехідних траєкторій в процесі розв'язання єдиної варіаційної задачі отримані при використанні математичної моделі ідеально керованої ЕРС, яка базується на гіпотезі про відсутність обмежень на величину тяги двигуна та на припущенні пропорційності мас її складових максимальній потужності джерела. Проте модель ідеально керованої рушійної системи не дозволяє враховувати особливості реальних ЕРС, наприклад, сталість по модулю (для ЕРС сталої тяги), або обмеженість тяги (для будь-якої реальної ЕРС). Через нелінійність рівнянь руху центру мас МТА для успішного розв'язання відповідної двоточкової крайової задачі необхідне задання доволі точних початкових наближень. В загальному випадку не існує алгоритмів знаходження таких початкових наближень. В даній доповіді для окремого класу маневрів, а саме для перельотів між близькими еліптичними орбітами, вказано як подолати вказані недоліки та отримати розв'язок, використовуючи добре відомі чисельні методи для випадків ідеально керованої ЕРС, ЕРС обмеженої тяги та ЕРС сталої тяги.

Показано, що вибір типу рушійної системи суттєво впливає на оптимальні програми зміни тяги. На прикладах конкретних маневрів проведено оцінку впливу сталості та обмеженості тяги на значення маси корисного вантажу у порівнянні з випадком використання ідеально керованої рушійної системи. Як і очікувалось, використання моделі ідеально керованої ЕРС дозволяє отримати верхню оцінку ефективності максимізації маси корисного вантажу МТА при заданому значенні його початкової маси та фіксованих питомих параметрах модулів ЕРС.

ДВОРІВНЕВИЙ РОЗРАХУНОК ПРУЖНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТКАНИХ КОМПОЗИТІВ

Костромицька О.А., Львов Г.І.

Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут», м. Харків

У роботі застосовано дворівневий підхід для чисельного визначення ефективних пружних постійних тканих композитів. Процедура осереднення розділена на два різномасштабних етапи. На першому (мікромасштабному) рівні обчислюються усереднені характеристики пучка волокон - однонаправлено армованого волокнистого композиту гексагональної структури з поперечним перерізом мінімального представницького об'єму (рис. 1), - на основі відомих властивостей волокон і матриці. З метою зниження обчислювальних витрат на мікромасштабному рівні осереднення використано математичну аналогію між задачею поздовжнього зсуву і двовимірною задачею стаціонарної теплопровідності [1]. Це дозволило обмежитись на першому рівні аналізом двовимірних задач.

Другий рівень осереднення виконано для плетеного композиту, модель представницького елемента якого показано на рис.2. Запропоновано методику чисельного моделювання базових експериментів, необхідних для визначення всіх характеристик пружності плетених композитів. Сформульовано системи граничних умов, які забезпечують повну відповідність розподілу мікронапружень всередині представницького об'єму тому стану, який виникає при однорідній макродеформації композиту. На другому етапі осереднення використовуються ефективні пружні характеристики пучка волокон, знайдені на першому етапі. При цьому враховано поворот головних напрямків пружних властивостей трансверсально ізотропного пучка (рис.3). Орієнтація осей глобальної системи координат $\{n_1, n_2, n_3\}$ відносно локальної $\{e_1, e_2, e_3\}$ визначається косинусами кутів між відповідними осями: $\alpha_{ij} = n_i \cdot e_j$. Для завдання властивостей пучка в глобальній системі координат компоненти тензора пружних постійних змінюються на нові значення за правилами перетворення тензорів четвертого рангу [2]: $C_{ijkl}^* = C_{prst} \alpha_{ip} \alpha_{jr} \alpha_{ks} \alpha_{lt}$. В таблиці представлено отримані результати.

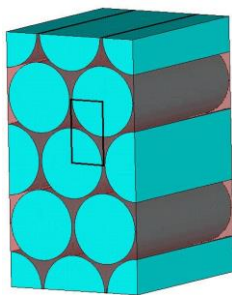


Рисунок 1

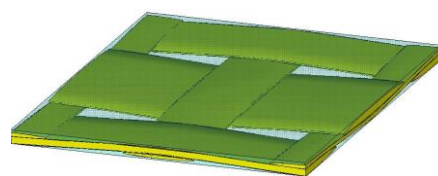


Рисунок 2
Пружні характеристики тканого композиту

E_x , ГПа	E_y , ГПа	E_z , ГПа	G_{xy} , ГПа	G_{yz} , ГПа	G_{xz} , ГПа	ν_{yx}	ν_{zy}	ν_{zx}
45.87	18.35	7.84	2.392	1.192	2.052	0.0517	0.221	0.085

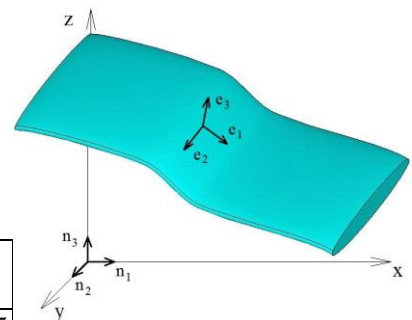


Рисунок 3

Література:

1. Daryazadeh S., Lvov G., Tajdari M. A new numerical procedure for determination of effective elastic constants in unidirectional composite plates // J. of Solid Mechanics. – 2016. – Vol. 8. – № 1. – P. 104-115.
2. Лурье А.И. Теория упругости. – М.: Наука, 1970. – 940 с.

ІНВАРІАНТНІСТЬ МІР РУХУ ПРИ АНАЛІЗІ КОЛИВАНЬ СИСТЕМ ТІЛ

Лавінський Д.В, Морачковський О.К, Фоменко Н., Четверікова А.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків*

У курсовій роботі з теоретичної механіки для спеціальності 113 “Прикладна математика” з спеціалізацією «Комп’ютерна механіка» передбачено комп’ютерні дослідження на базі програмного комплексу «КІДІМ», у яких для аналізу динаміки систем тіл визначають кінематичні характеристики руху. В основу аналізу покладено теоретичні положення динаміки систем абсолютно твердих тіл, для яких за рахунок використання рівнянь в’язей встановлено кількість ступенів вільності системи, що використано для визначення скалярних мір руху системи тіл з пружним та в’язкими елементами. За теоремами динаміки довільної системи тіл визначаються інваріантні (незмінні) стосовно виду руху енергетичні міри.

За теоремами про кінетичну енергію встановлюють, що зміна кінетичної енергії за одиницю часу дорівнює потужності сил, що приводять до руху механічну систему. За теоремами про повну енергію встановлюють, що якщо консервативна механічна система рухається під дією потенційних і не потенційних дисипативних сил, то здвоєна функція Релея дорівнює швидкості зменшення повної енергії, яка дорівнює додатку кінетичної та потенційної енергії, механічної системи. Логарифмічний декремент загасання $L_{dek} = h \cdot T_0$, де $h = u / (2 \cdot M)$, $T_0 = 2 \cdot \pi / \omega$, $\omega = \sqrt{C / M}$, є обернено пропорційний числу коливань $k = 4.605 / (h \cdot T_0)$, тому інтегрування диференціальних рівнянь за часом $t [0 \leq t \leq t_*]$ за часом затухання коливань $t_* = k \cdot T_0$. Інваріантність цих мір руху має місце при вільних, гармонічних та згасаючих коливаннях, вимушених коливаннях без урахування сил опору та за їх наявності, при резонансі та при битті. Доведення інваріантності кількісних мір – кінетичної, повної енергій та їхні похідні за часом, потужності та функції Релея, які застосовуються при аналізі динаміки механічних систем при перевірці обчислювальних розрахунків на базі програмного комплексу «КІДІМ». В усіх задачах визначаються закони руху, кінематичні характеристики, абсолютні швидкості й пришвидшення тіл та окремих їхніх точок підраховуються енергії, роботи та потужності сил та функції дисипації.

Висновки. В роботі отримані результати розрахунків динаміки механічної системи тіл. Створені програмні розробки для виконання досліджень для аналізу динаміки механічної системи тіл. Результати розрахунків з динаміки руху тіл механічної системи перевіренні на підставі виконання теорем теоретичної механіки.

Отримані залежності для інваріантів мають самостійне значення і їх можна використовувати для встановлення дійсних значень характеристик руху, енергії, роботи та потужності сил та функції дисипації за результатами комп’ютерних розрахунків.

**ПРУЖНО-ПЛАСТИЧНЕ ДЕФОРМУВАННЯ ВИГНУТИХ
ТОНКОСТІННИХ ЗАГОТОВОК
ПРИ МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНІЙ ОБРОБЦІ**

Лавінський Д.В., Морачковський О.К.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків*

Вигнуті тонкостінні металеві заготовки є базою для виготовлення конструкційних елементів різного призначення. Зазвичай, необхідні вигнуті конструкційні елементи виготовляють у два етапи: на першому досягають необхідних загальних (габаритних) розмірів та форми, на другому – досягають необхідної якості безпосередньо у кутовій зоні. Технологічні операції, спрямовані на забезпечення необхідної якості кутової зони вигнутих тонкостінних елементів конструкцій одержали назву у галузі «традиційної» обробки металів тиском (ОМТ) операцій із «заповнення кутів». Частина технологічних операцій магнітно-імпульсної обробки матеріалів (МІОМ) має за мету створення умов для виникнення залишкових деформацій у вигнутих металевих тонкостінних заготовках безпосередньо у зоні вигину. З точки зору умов технологічної операції тут необхідно здійснити максимальний силовий вплив саме в околі кута. Прикладом необхідності «заповнення кутів» для тонкостінних вигнутих заготовок може служити завдання з формування кутів при штампуванні елементів кузовних конструкцій автомобілів. Використання МІОМ у даному випадку є цілком обґрунтованим, бо, по-перше, відсутність пуансону, як такого, зводить до мінімуму проблему пошкодження покриття поверхні, по-друге, при даному способі обробки має місце нерозривний зв'язок поміж інструментом (індуктором) і заготовкою, що деформується.

Розробка технологічної операції МІОМ не може проводитись без всебічного аналізу деформування заготовки та інструменту – індуктору. Аналіз деформування заготовки повинен давати відповідь на запитання: чи виникатимуть у ній залишкові деформації, бо це є критерієм успішності технологічної операції. Натомість, стосовно індуктору – тут деформації повинні залишатись пружними, бо це є запорукою того, що індуктор буде працездатним та довговічним.

Розглянуто одну із можливих схем застосування МІОМ до «заповнення кутів» вигнутих заготовок. Створено розрахункову схему, яка містить індуктор та заготовку. Із застосуванням чисельного розрахункового методу аналізу, який базується на методі скінчених елементів проведено аналіз розподілу векторних характеристик електромагнітного поля, окремі результати порівнюються із даними експериментальних досліджень інших авторів. Порівняння свідчать про достатньо високий ступінь збігу чисельних результатів із експериментальними. На другому етапі проведено аналіз деформування заготовки, розглянуто різні варіанти її закріплення: закріплення торців та вільне обпирання на діелектричну масивну матрицю. Проведений аналіз дозволив визначити раціональні конструкційні та експлуатаційні параметри технологічної операції.

СКІНЧЕННОЕЛЕМЕНТНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ПОВЕРХНЕВОЇ ХВИЛІ ДЛЯ МЕТОДІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

Львов І.Г.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Традиційні ультразвукові методи успішно використовуються для оцінки стану структурних компонентів. Проте застосування цих традиційних методів обмежувалося випробуванням відносно простої геометрії або низьким діапазоном придатності. Нові ультразвукові методи використовують керовані поверхневі хвилі для перевірки структурних компонентів. Перевагами даної методики є можливість перевірки всієї структури за допомогою одного виміру та її здатності перевіряти недоступні регіони складних компонентів.

Взагалі керовані поверхневі хвилі складаються з багатьох різних власних коливань, які характерні для даної структури. Явища поширення хвилі складаються з суперпозиції цих модів власних коливань. Ці хвилі взаємодіють з дефектами, а також з геометричними особливостями, такими як кути, що викликають відбиття цих хвиль. Тому поширення керованих хвиль у структурі є складним процесом, який важко зафіксувати та інтерпретувати. Для вирішення цих завдань можна моделювати розповсюдження керованих хвиль шляхом аналітичного вирішення диференціальних рівнянь руху керованих хвиль з відомими граничними умовами. Ці розрахунки можна зробити для простих геометрій без дефектів. Проте цей підхід не може бути використаний для більш складних геометрій або для недосконалої структури матеріалу. Чисельне рішення, з іншого боку, дозволяє уникнути труднощів, спричинених геометрією та дефектами мікроструктури. Тому поточна робота спрямована на моделювання взаємодії дефектів та поверхневих хвиль у різних типах геометричних структур за допомогою методу скінченних елементів, імplementованим комерційним програмним пакетом ANSYS.

Серію чисельних експериментів було проведено з різними частотами вхідного сигналу для формування амплітудно-частотної діаграми та визначення частоти вхідного сигналу з максимальною амплітудою сигналу відгуку для кожного конкретного геометричного домену. Результати показали хорошу придатність моделювання методом скінченних елементів як додаткового інструменту для методів неруйнівного контролю. Для трубопроводів підхід, який використовується в даному дослідженні, дозволяє прогнозувати поздовжнє та кутове положення дефекту по периметру трубопроводу зі значною точністю.

ДОСЛІДЖЕННЯ ОРТОТРОПІЇ В'ЯЗКОПРУЖНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СКЛОПЛАСТИКУ ПРИ ПІДВИЩЕНИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Мартиненко В.Г.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків*

Проведено експеримент на високотемпературну в'язкопружність зразків, виготовлених з полімерного композиційного матеріалу, армованого скляними волокнами.

Для встановлення анізотропії в'язкопружних властивостей зразки були вирізані з одного тонкого листа композиту під різними кутами до напрямків армування (рис. 1).



Рисунок 1. Композиційні зразки, вирізані під різними кутами

Це дозволило знайти табличні залежності від часу та температури тензорів жорсткості та релаксації матеріалу, що відповідають ортотропії його механічних властивостей. З них були знайдені табличні залежності технічних параметрів в'язкопружності, таких як модулі Юнга, зсуву та коефіцієнти Пуассона, що потім при застосуванні методу найменших квадратів були апроксимовані за допомогою експоненціальних рядів Проні за часом та зсувної функції Вільямса-Ландела-Феррі за температурою з використанням припущення про термореологічну простоту матеріалу, що розглядається.

Порівняння табличних значень залежного від часу та температури тензору жорсткості, а також отриманих в результаті апроксимації аналітичних залежностей технічних параметрів в'язкопружності дозволило проаналізувати характер прояву в'язкопружних властивостей для різних напрямків навантаження. При цьому, для деяких напрямків вклад в'язкопружних властивостей є порівняним із вкладом пружних.

Встановлена висока збіжність результатів, отриманих за допомогою натурного експерименту, із результатами, визначеними в ході проведення чисельного експерименту на релаксацію напружень в представницькому об'ємі композиційного матеріалу.

Проведене дослідження свідчить про прояв явища ортотропної в'язкопружності для полімерних армованих композиційних матеріалів, що потрібно враховувати в розрахунках механіки твердого тіла, що деформується.

ВЕРИФІКАЦІЯ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ РОТОРІВ ГАЗОТУРБІННОЇ УСТАНОВКИ В АКТИВНИХ МАГНІТНИХ ПІДШИПНИКАХ

Мартиненко Г.Ю.

Національний технічний університет «ХПІ», м. Харків

Поглиблені дослідження динаміки роторів ГТУ в активних магнітних підшипниках (АМП), а саме аналіз вимушених коливань при різних режимах роботи системи управління (СУ) АМП, можливо виконувати за допомогою нелінійної імітаційної обчислювальної моделі динаміки роторів в магнітних підшипниках (ІОМ-ДРМП-Н) [1]. Однак для отримання адекватних результатів на початковому етапі повинна здійснюватися перевірка точності даної моделі при певних параметрах, наприклад, за допомогою порівняльного аналізу результатів, отриманих з використанням ІОМ-ДРМП-Н, з результатами скінченноелементного підходу або з відомими даними [2].

У роботі доведено, що достатньою є верифікація обчислювальної моделі за значеннями власних частот при однакових формах коливань, а також за значеннями критичних і резонансних частот при певній жорсткості магнітних опор, що відповідає деякому модельному режиму роботи СУ.

Встановлено, що розбіжність значень критичних частот (рис. 1), знайдених за допомогою ІОМ-ДРМП-Н, з рішеннями в скінченноелементній постановці і еталонними значеннями не перевищує 2,6 і 4,0% відповідно. У сукупності з порівняльним аналізом АЧХ при однакових параметрах, який показав збіг значень резонансних частот і відповідних їм амплітуд з точністю до 1 і 2% відповідно, ці результати дозволили прийти до висновку про достовірність аналізу реальної роторної динаміки агрегатів ГТУ за допомогою ІОМ-ДРМП-Н.

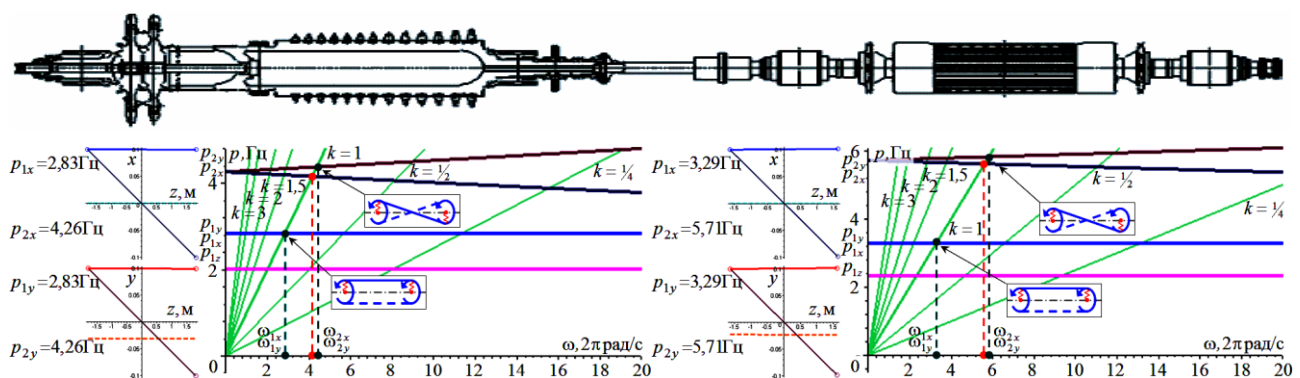


Рис. 1. Результати аналізу роторної динаміки турбокомпресора (зліва) і генератора (справа) ГТУ при жорсткості всіх АМП 1 МН/м (при масі 11000 кг)

Література:

1. Мартиненко Г.Ю. Исследование устойчивости движения ротора в управляемых электромагнитных подшипниках с помощью нелинейной имитационной вычислительной модели // *Проблемы машиностроения*. Харьков, 2005. Т. 8, №1. С. 47-58.
2. Мартиненко Г.Ю., Олейник А.В. Идентификация расчетной модели ротора газотурбинной установки в магнитных подшипниках по геометрическим и динамическим параметрам // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Динаміка і міцність машин. Харків, 2014. №57(1099). С. 56-67.

РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ДЕМПФУЮЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РОТОРНИХ СИСТЕМ

¹Мартиненко Г.Ю., ²Марусенко О.М.

¹*Національний технічний університет*

«Харківський політехнічний інститут»,

²*Інститут проблем машинобудування*

ім. А. М. Підгорного НАН України, м. Харків

При моделюванні динамічних станів високошвидкісних роторних систем (турбодетандер, компресор) велике значення має урахування можливості варіювання демпфувальними властивостями конструкційних матеріалів та елементів конструкції, які впливають на зміни динамічної поведінки (рівень амплітуд вимушених коливань і напружень в зонах концентрації).

Від правильного вибору методу оцінки демпфування в системі залежить відповідність результатів розрахункового аналізу та експериментальних даних.

Відомо кілька методик оцінки демпфування коливань в обертових системах, найбільш часто з них використовують:

- оцінку за допомогою коефіцієнтів, що визначають внутрішнє (гістерезисне) і зовнішнє (конструкційне) демпфування;
- оцінку, виходячи з аналізу поведінки конструкції при вимушених гармонійних коливаннях (знаходження логарифмічного декременту затухання на основі побудованої амплітудно-частотної характеристики);
- оцінку на основі обробки віброграм конструкції в умовах власних згасаючих коливань і дослідження її огинаючої;
- оцінку з використанням пропорційної матриці опору, коефіцієнти якої обчислюються при експериментальному аналізі вільних коливань певної конструкції.

В даний час особливу увагу приділяють розрахунково-експериментальним методикам, в основу яких покладено спільне застосування методів експерименту та чисельного розрахунку, які дозволяють досліджувати складні конструкції, що складаються з взаємодіючих частин.

У роботі розроблені основні етапи реалізації розрахунково-експериментальної методики визначення демпфуючих властивостей роторних систем при використанні моделі релеєвського демпфування $[C] = \alpha[M] + \beta[K]$, де α та β – коефіцієнти, що характеризують інерційне і конструкційне демпфування. Оскільки конструкційне демпфування значно суттєвіше, ніж інерційне, то можна прийняти $\alpha=0$ і необхідно визначати коефіцієнт β .

Експериментально можна знайти логарифмічний декремент коливань δ , тоді коефіцієнт β може бути знайдений за допомогою коефіцієнта поглинання $\psi=2\delta$, або постійної ступені демпфування $\zeta=\delta/2\pi$ (damping ratio).

У першому випадку коефіцієнт β знаходиться наступним чином:

$$\beta = \psi / 2\pi\omega = 2\delta / 2\pi\omega = \delta / \pi\omega,$$

у другому випадку:

$$\beta = \zeta / \pi f = 2\zeta / \omega = 2\delta / 2\pi\omega = \delta / \pi\omega.$$

де ω – кругова частота; f – частота.

SOLUTION OF GAS TURBINE ENGINES ROTORS THERMOELASTICITY PROBLEM

Morhun S., Kupriyanova I.

*Admiral Makarov National University of Shipbuilding,
Nikolaev*

The working process of attached solid constructions like gas turbine rotors that are used in modern gas turbine engines is steadily influenced by various mechanical and thermal effects of high intense [1]. This fact causes a connection between changes of the matched solid bodies mechanical contact and a heat flow through their surfaces. Especially important this correlation is for details of gas turbine engines due to their extremely hard working process.

The considered mechanical deformable system energy state could be described by Lagrange variation principle. Thus:

$$\begin{aligned}\delta L &= 0 \\ L &= \Pi - T\end{aligned}\tag{1}$$

where L – Lagrange function; Π – potential energy of system's resistance to deformation; T – the work of external forces.

After FEM approximation [2] the main equation of the mechanical system balance (1) is transformed to:

$$[K]\{\delta\} = \{F\}\tag{2}$$

where $[K]$ – global stiffness matrix of finite elements model; $\{\delta\}$ – vector of finite elements nodes generalized displacement; $\{F\}$ – vector of external forces.

The mutual FEM dependences of the aforementioned assembly heat balance:

$$[K_T]\{T\} = \{Q\}\tag{3}$$

where $[K_T]$ – global matrix of the finite elements model thermal conductivity; $\{T\}$ – vector of temperatures located in the nodes of finite elements; $\{Q\}$ – vector of external heat load.

Therefore, for the solution of gas turbine engine rotors thermoelasticity problem we need to solve the set of matrix equations, that is formed by the usage of dependencies (2) and (3).

References:

1. Пыхалов А.А. Статический и динамический анализ сборных роторов турбомашин / А.А. Пыхалов, А.Е. Милов. – Иркутск: Изд-во Иркут. техн. ун-та, 2007. – 194 с.
2. Моргун С.А. Усовершенствование конечно-элементных моделей лопаточных конструкций [Текст] / С. А. Моргун // Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – С. 86 – 91. doi:10.20998/2413-4295.2016.12.14

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ АНАЛІЗУ ЧУТЛИВОСТІ ПРИ КОРЕКЦІЇ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ МАШИНОБУДІВНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Назаренко С. О.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Методи аналізу чутливості дозволяють оцінити характер трансформувannya функціоналів стану машинобудівних конструкцій при зміні параметрів проектування. Аналіз чутливості характеристик компонентів машин дозволяє вирішити цілий ряд практичних завдань проектування, доведення, технологічної підготовки виробництва і контролю ефективної експлуатації конструкцій [1, 2]. При переході від реального об'єкта до його математичної моделі допускається деяка похибка.

Великий теоретичний і практичний інтерес при дослідженні життєвого циклу складних машинобудівних конструкцій представляють проблеми створення математичної моделі, яка адекватно описує масово - інерційні, міцнісні та динамічні характеристики, їх корекцію за результатами експериментів на реальних прототипах при використанні методів аналізу чутливості та кількісної оцінки невизначеності (Verification, Validation , Uncertainty Quantification), пов'язаної з неточною або неповною інформацією. Невизначеності («Uncertainties»), справжні («True») і коректовані («Corrected») значення складно структурно пов'язані.

Похідні по проектним змінним (коефіцієнти чутливості) характеризують без модифікації всієї моделі напрямок і швидкість зміни критеріїв мети (функціоналів якості) машинобудівних конструкцій при варіюванні параметрами проектування.

Аналіз чутливості характеристик машинобудівних конструкцій до варіювання проектних параметрів дозволяє виконувати оперативні оціночні розрахунки великого числа варіантів при коригуванні або ідентифікації їх математичних моделей. Формально в процесі досліджень можна виділити групу уточнюючих моделей та модель, яку уточнюємо.

Побудова картин чутливості характеристик машинобудівних конструкцій до зміни параметрів дозволяє підвищити ефективність подальшої кількісної оцінки невизначеності і калібрування параметрів моделі, включає виявлення як виключаємих, так і уточнюючих параметрів. Наведені приклади реалізованих прикладних інжинірингових розробок і проектування промислових виробів.

Література:

1. Назаренко С. А. Математические модели элементов машин при воздействии физических полей и внешней среды / С. А. Назаренко, Э. А. Симсон // Механіка та машинобудування. — 2009. — № 1. — С. 69–77.
2. Назаренко С. А. Задачи оптимизации многокомпонентных тел неоднородной структуры / С. А. Назаренко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Динаміка і міцність машин. – Х.: НТУ «ХПІ», 2015. – № 57 (1166). – С. 87-90.

ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ УРАВНЕНИЯ ПОЛЗУЧЕСТИ И ВОЗВРАТА ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Науменко К.В.¹, Татарина О.А.²

¹ *Университет им.Отто фон Герике,
г. Магдебург*

² *Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

В различных технических приложениях часто возникают задачи определения напряженно-деформированного состояния периодически нагруженных в условиях ползучести элементов конструкций. Для многих материалов процессы ползучести протекают совместно с эффектами возврата. Для решения подобных задач необходима формулировка определяющих соотношений, описывающих процесс ползучести и возврата при повышенной температуре при периодическом, или циклическом, нагружении. Для удовлетворительного анализа деформирования необходимо обобщение данных уравнений на случай сложного напряженного состояния.

Доклад посвящен анализу неупругого поведения при периодических режимах нагружения для материалов, чье длительное деформирование характеризуется ползучестью с возвратом. Одним из наиболее распространенных в последнее время способов описания ползучести и возврата в металлах является использование определяющих уравнений, предложенных Ч.О. Фредериком и П.Дж. Армстронгом.

В работе предложены уравнения состояния, которые могут с одинаковой точностью описывать поведение материала как при быстром, так и при медленном изменении циклических составляющих нагружения. Уравнения получены путем применения к исходной модели Армстронга-Фредерика метода многих масштабов с последующим осреднением на периоде изменения напряжения. Выполнено сравнение результатов расчетов на базе прямого интегрирования и с помощью решения осредненной системы дифференциальных уравнений ползучести и возврата, показавшее удовлетворительную степень соответствия расчетных данных.

Приведены результаты расчетов ползучести, сопровождаемой возвратом, для разных периодов изменения циклической составляющей напряжения, соответствующих случаям динамической ползучести (при вынужденных колебаниях) и циклической, с малой частотой. Для последнего случая проанализировано влияние формы цикла напряжений на скорость деформации ползучести и напряжение возврата.

Анализ достоверности, полученное удовлетворительное соответствие данных позволяет рекомендовать полученные осредненные уравнения для использования при анализе деформирования элементов машиностроительных конструкций. Это позволит существенно сократить время вычислений при анализе длительных циклических программ нагружения.

АЛГОРИТМ ДИНАМІЧНОГО ГІРОКОМПАСУВАННЯ ДЛЯ ВИСОКОТОЧНИХ СИСТЕМ НАВІГАЦІЇ ТА КЕРУВАННЯ РУХОМ

Некрасова М.В.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Однією з актуальних задач створення та вдосконалення систем керування рухом сучасних аерокосмічних об'єктів є підвищення точності їх інформаційних підсистем у цілому і навігаційного обладнання, зокрема. Головним напрямом розв'язання такої задачі є використання надлишкової інформації, що надходить від інерціальних датчиків та приймача супутникових навігаційних сигналів [1,2].

Метою роботи є розробка більш точного методу та алгоритму динамічного гірокомпасування та доведення гіпотези стосовно можливості підвищення точності курсовизначення в гірокомпасі з лазерними гіроскопами (ЛГ) за рахунок заміни вібропідставки примусовим регулярним обертанням.

Для перевірки гіпотези щодо покращення результатів гірокомпасування у випадку, коли вібропідставка ЛГ відсутня, було проведено експеримент, у якому блок із ЛГ примусово обертася навколо вертикальної осі зі швидкістю 20°/с. Метою експерименту був збір вимірів, які отримані із вібропідставкою ЛГ та без вібропідставки. Зібрані виміри було оброблено за спеціально розробленим методом.

З отриманих результатів моделювання видно, що відмова від вібропідставки в ЛГ, по-перше, сприяє зменшенню розкиду оцінок курсу у порівнянні із традиційною схемою використання ЛГ, по-друге, прискорює збіжність результату та, по-третє, підвищують точність курсовизначення при тій же тривалості сеансу. Пояснення цих позитивних ефектів полягає у наступному. Зменшення розкиду результату та прискорення його збіжності є слідством зменшення рівня шуму у вихідних вимірах у разі відсутності вібропідставки. Цей факт сприяє кращому осередненню шумової складової, яке здійснюється при чисельному інтегруванні.

Це є неабиякою перевагою даного методу, тому його використання є цілком доцільним.

Література:

1. Uspenskyi, V. Complexification of information in integrated navigation system: UAV case / V. Uspenskyi, D. Breslavsky, V. Metielov, M. Nekrasova, N. Shyriaieva // *Differential Equations & Control Theory*. September 27th–30th, 2017, Poland. Book of Abstracts. P.20.
2. Nekrasova, M. Improving the accuracy of orientation object that rapidly rotating / M. Nekrasova, V. Uspenskyi // *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. – 2016. – # 5/9(83). – 27–32 pp.

НОВІ ТЕСТОВІ ОБЕРТАЛЬНІ РУХИ ТВЕРДОГО ТІЛА ДЛЯ ОПРАЦЮВАННЯ АЛГОРИТМІВ БЕЗПЛАТФОРМЕНОЇ ОРІЄНТАЦІЇ

Плаксії Ю.А.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків*

Розглядається задача оцінювання точності алгоритмів визначення кватерніонів орієнтації на етапі проектування системи безплатформеної орієнтації. Актуальність задачі обумовлена значною кількістю розроблених алгоритмів різного порядку і тим, що в безплатформених системах алгоритми визначення орієнтації відтворюють математичний образ інерціальної системи координат.

В теперішній час найбільш поширеними тестовими рухами є моделі кіничного обертання і регулярної прецесії, в яких кватерніон орієнтації і квазікоординати, що імітують сигнали на виході датчиків кутової швидкості на такті обчислень, представляються неперервними функціями часу.

Для розширення класу тестових рухів пропонуються дві нові еталонні моделі, основані на двочастотному представленні модельного кватерніона орієнтації. В моделі першого типу компоненти кватерніона задаються у вигляді:

$$\lambda_0(t) = \eta \cos k_1 t \cdot \cos k_2 t; \lambda_1(t) = \sin k_1 t; \lambda_2(t) = \cos k_1 t \cdot \sin k_2 t; \lambda_3(t) = \xi \cos k_1 t \cdot \cos k_2 t. \quad (1)$$

де k_1, k_2 – частоти, η і ξ – параметри, для яких виконується умова $\eta^2 + \xi^2 = 1$.

Для цього представлення кватерніона орієнтації проекції вектора кутової швидкості твердого тіла на зв'язані осі набувають вигляду:

$$\begin{aligned} \omega_1(t) &= 2\eta k_1 \cos k_2 t + 0,5\eta k_2 \cos(2k_1 - k_2)t - 0,5\eta k_2 \cos(2k_1 + k_2)t + \xi k_2 + \xi k_2 \cos 2k_1 t; \\ \omega_2(t) &= -2\xi k_1 \cos k_2 t + \eta k_2 + \eta k_2 \cos 2k_1 t - 0,5\xi k_2 \cos(2k_1 - k_2)t + 0,5\xi k_2 \cos(2k_1 + k_2)t; \\ \omega_3(t) &= 2k_1 \sin k_2 t - 0,5k_2 \sin(2k_1 + k_2)t - 0,5k_2 \sin(2k_1 - k_2)t. \end{aligned} \quad (2)$$

Вирази (1) і (2) є розв'язками відповідних рівнянь обертання твердого тіла з початковими умовами $\Lambda(0) = (\eta, 0, 0, \xi)$, $\vec{\omega}(0) = (2\eta k_1 + 2\xi k_2, -2\xi k_1 + 2\eta k_2, 0)$.

Компоненти кватерніона орієнтації для моделі другого типу мають вигляд:

$$\lambda_0(t) = \cos k_1 t; \lambda_1(t) = \sin k_1 t \cdot \sin k_2 t; \lambda_2(t) = \xi \sin k_1 t \cdot \cos k_2 t; \lambda_3(t) = \eta \sin k_1 t \cdot \cos k_2 t, \quad (3)$$

де також має місце умова $\eta^2 + \xi^2 = 1$.

Відповідний розв'язок динамічних рівнянь обертання твердого тіла має вигляд:

$$\begin{aligned} \omega_1(t) &= 2k_1 \sin k_2 t + 0,5k_2 \sin(2k_1 + k_2)t + 0,5k_2 \sin(2k_1 - k_2)t, \\ \omega_2(t) &= 2\xi k_1 \cos k_2 t - \eta k_2 + \eta k_2 \cos 2k_1 t - 0,5\xi k_2 \cos(2k_1 - k_2)t + 0,5\xi k_2 \cos(2k_1 + k_2)t, \\ \omega_3(t) &= 2\eta k_1 \cos k_2 t - 0,5\eta k_2 \cos(2k_1 - k_2)t + 0,5\eta k_2 \cos(2k_1 + k_2)t + \xi k_2 - \xi k_2 \cos 2k_1 t. \end{aligned} \quad (4)$$

Для цієї моделі $\Lambda(0) = (1, 0, 0, 0)$, $\vec{\omega}(0) = (0, 2\xi k_1, 2\eta k_1)$.

Запропоновані тестові рухи були застосовані у якості еталонних моделей для отримання оцінок похибок дрейфу деяких алгоритмів визначення кватерніонів орієнтації. Наводяться результати моделювання нових тестових рухів у вигляді побудованих траєкторій в конфігураційному просторі параметрів орієнтації, а також графічні залежності отриманих похибок алгоритмів від часу.

НОВІ ТЕСТОВІ РУХИ В ЗАДАЧІ ОЦІНЮВАННЯ ТОЧНОСТІ АЛГОРИТМІВ ВИЗНАЧЕННЯ ОРІЄНТАЦІЇ В БІНС

Плаксій Ю.А., Гомозкова І.О.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

На етапі проектування безплатформених інерціальних навігаційних систем (БІНС), в яких алгоритмічний аспект відіграє значну роль, актуальною є задача тестування відповідних алгоритмів на тестових обертальних рухах твердого тіла з метою отримання коректних оцінок точності. В основу найбільш застосованих в теперішній час тестових рухів покладені випадки моделей кінцевого руху і регулярної прецесії.

Для розширення класу тестових рухів пропонуються дві нові еталонні моделі обертання, які можна інтерпретувати як аналітичні розв'язки сукупності відповідних динамічних і кінематичних рівнянь обертального руху твердого тіла.

Для першої моделі задамо розв'язок кінематичного рівняння у вигляді $\lambda_0(t) = \cos k_1 t \cdot \cos k_2 t$; $\lambda_1(t) = \sin k_1 t$; $\lambda_2(t) = \eta \cos k_1 t \cdot \sin k_2 t$; $\lambda_3(t) = \xi \cos k_1 t \cdot \sin k_2 t$. (1)
де k_1, k_2 – частоти, а для параметрів η і ξ виконується умова: $\eta^2 + \xi^2 = 1$.

Відповідний розв'язок динамічних рівнянь може бути представлений у вигляді:

$$\begin{aligned}\omega_1(t) &= 2k_1 \cos k_2 t + 0,5k_2 \cos(2k_1 - k_2)t - 0,5k_2 \cos(2k_1 + k_2)t, \\ \omega_2(t) &= -2\xi k_1 \sin k_2 t + \eta k_2 + \eta k_2 \cos 2k_1 t + 0,5\xi k_2 \sin(2k_1 + k_2)t + 0,5\xi k_2 \sin(2k_1 - k_2)t, \\ \omega_3(t) &= 2\eta k_1 \sin k_2 t - 0,5\eta k_2 \sin(2k_1 + k_2)t - 0,5\eta k_2 \sin(2k_1 - k_2)t + \xi k_2 + \xi k_2 \cos 2k_1 t.\end{aligned}\quad (2)$$

Для розв'язків (1) і (2) мають місце початкові умови: $\Lambda(0) = (1, 0, 0, 0)$, $\vec{\omega}(0) = (2k_1, 2\eta k_2, 2\xi k_2)$, друга та третя компоненти вектора кутової швидкості містять постійні складові.

Для другої моделі запишемо розв'язок кінематичного рівняння у вигляді:

$$\lambda_0(t) = \cos k_1 t \cdot \cos k_2 t; \lambda_1(t) = \sin k_1 t \cdot \cos k_2 t; \lambda_2(t) = \xi \sin k_2 t; \lambda_3(t) = \eta \sin k_2 t, \quad (3)$$

де k_1, k_2 – постійні частоти і виконується умова $\eta^2 + \xi^2 = 1$.

Для цього представлення кватерніона орієнтації нескладно отримати відповідний розв'язок динамічних рівнянь у вигляді:

$$\begin{aligned}\omega_1(t) &= k_1 + k_1 \cos 2k_2 t, \quad \omega_2(t) = 0,5\eta k_1 \cos(2k_2 - k_1)t - 0,5\eta k_1 \cos(2k_2 + k_1)t - 0,5\xi k_1 \sin(2k_2 + k_1)t - \\ &- 0,5\xi k_1 \sin(2k_2 - k_1)t + 2\eta k_2 \cos k_1 t + 2\xi k_2 \sin k_1 t, \quad \omega_3(t) = 0,5\xi k_1 \cos(2k_2 - k_1)t - \\ &- 0,5\xi k_1 \cos(2k_2 + k_1)t + 0,5\eta k_1 \sin(2k_2 + k_1)t + 0,5\eta k_1 \sin(2k_2 - k_1)t + 2\xi \eta k_2 \cos k_1 t - 2\eta k_2 \sin k_1 t\end{aligned}\quad (4)$$

Для цього розв'язку перша компонента вектора кутової швидкості має постійну складову, $\Lambda(0) = (1, 0, 0, 0)$, $\vec{\omega}(0) = (2k_1, 2\eta k_2, 2\xi k_2)$.

Запропоновані тестові рухи були застосовані для отримання оцінок похибок деяких алгоритмів визначення кватерніонів орієнтації. Приводяться результати моделювання нових тестових рухів у вигляді побудованих траєкторій в конфігураційному просторі параметрів орієнтації, а також графічні залежності отриманих похибок алгоритмів визначення орієнтації від часу.

СТАТИСТИЧНА ОЦІНКА ЗАЛИШКОВОЇ МІЦНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ КОРОЗІЙНО ПОШКОДЖЕНОГО ТРУБОПРОВОДУ

Потопальська К. Є, Ларін О.О.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Трубопроводи є одним з найпопулярніших способів транспортування нафти та газів. Під час тривалої експлуатації пошкодження трубопроводу може виникнути внаслідок накопичення втоми та виникнення корозії на поверхні конструктивних елементів. Це може призвести до утворення тріщин і розгерметизації конструкції. Тому розвиток поверхневих корозійних дефектів слід розглядати у ймовірнісній постановці. Своєчасне діагностування таких пошкоджень може запобігти виникненню аварійно-небезпечних ситуацій, екологічних катастроф та забруднення. Попередження відповідних подій за рахунок вчасного проведення технічного обслуговування та ремонту є вкрай важливою задачею.

У даній роботі проводиться оцінка залишкової міцності пошкодженого коліна трубопроводу на основі статистичної оцінки концентрації напруження та в конструкції з корозійним дефектом, який має випадкові габаритні розміри в залежності від часу експлуатації трубопроводу. За допомогою методу скінченних елементів розроблено параметричну модель, яка має складну тривимірну криволінійну геометрію та об'ємний дефект. З використанням розробленої моделі, було проведено ряд розрахунків для періоду експлуатації трубопроводу від 35 до 45 років для різних рівнів навантаження. Для цього виконано статичний розрахунок для коліна трубопроводу з відповідними розмірами пошкодження та з навантаженням, яке лінійно змінюється. Цей розрахунок повторюється принаймні 150 разів з утворенням різних розмірів дефектів, які ймовірно можуть виникнути при експлуатації трубопроводу для відповідного віку.

Для обробки отриманих статистичних даних були сформовані гістограми еквівалентних напружень, які в свою чергу були апроксимовані ортогональним рядом Лагера [1]. На даному етапі, використовуючи отримані імовірнісні параметри, визначається функція щільності ймовірності еквівалентних напружень. На основі отриманих числових залежностей, проводиться оцінка імовірності відмови пошкодженої частини трубопроводу, яка є як функцією часу та внутрішнього тиску.

Література:

1. Тихонов, В.И. Статистическая радиотехника/ В.И. Москва "РАДИО И СВЯЗЬ". – 1982. С. 624.

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВЛАСНИХ ТА ВИМУШЕНИХ КОЛИВАНЬ РІДИНИ В ПРИЗМАТИЧНИХ ТА ЦИЛІНДРИЧНИХ РЕЗЕРВУАРАХ

Стрельнікова О.О., Розова Л.В., Крютченко Д. В.

*Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків*

Контейнери та резервуари для зберігання нафти, легкозаймистих і отруйних рідин широко використовуються в різних областях інженерної практики, таких як авіабудування, хімічна і нафтогазова промисловість, енергетичне машинобудування, транспорт. Ці резервуари функціонують в умовах підвищених технологічних навантажень і заповнені нафтою, легкозаймистими або отруйними речовинами. В результаті раптової дії навантажень, викликаних землетрусами, іншими форс-мажорними обставинами, рідина, що зберігається в резервуарах, починає інтенсивні плескання. Тому вивчення динамічної поведінки рідини у резервуарах є актуальною задачею.

В доповіді розглядаються методи розв'язання задач коливань рідини в жорстких резервуарах. Запропоновано чисельний метод для моделювання імпульсу і сейсмічної дії на сховища з рідиною. Припускається, що рідина є нестисливою та ідеальною, а її рух, викликаний дією зовнішнього навантаження, є безвихровим. В цих умовах існують потенціал швидкостей, який задовольняє рівнянню Лапласа. Сформульовано мішану крайову задачу для цього рівняння. При цьому на бічних поверхнях та днищі резервуара задаються умови не протікання, а на вільній поверхні задаються кінематична та динамічна умови. Чисельний розв'язок отримано методом граничних елементів з використанням шматково-лінійної апроксимації невідомої щільності.

Розглянуті періодичні та імпульсні навантаження в призматичних та циліндричних резервуарах, а також навантаження, яке викликано дією сейсмічної хвилі. У випадку призматичних резервуарів аналітично отримані вирази для власних форм та частот коливань. Для циліндричних резервуарів форми коливань отримані за допомогою методу інтегральних рівнянь. Це дало змогу провести дослідження коливань рідини у циліндричному резервуарі за наявності внутрішніх горизонтальних перегородок.

Для аналізу вимушених коливань рідини в резервуарах під дією імпульсних та сейсмічних навантажень, невідомі функції розкладено в ряди за формами вільних коливань. Знайдено аналітичні розв'язки цих систем за допомогою методів операційного числення.

Отримані чисельні результати за допомогою яких знаходяться частоти періодичної сили, які є найбільш небезпечними при транспортуванні резервуару. Проаналізовано рівень підйому рідини в жорстких резервуарах під дією горизонтального періодичного, імпульсного та сейсмічного навантажень. Проаналізовано вплив наявності перегородки в резервуарі на максимальне значення підйому рідини.

ІНТЕРПРЕТАЦІЯ КЛАСИЧНИХ ВАРІАЦІЙНИХ ПРИНЦИПІВ

Федоров В.О.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків*

Практичне значення варіаційних принципів механіки є в тому, що вони дозволяють для розв'язання прикладних задач застосовувати ефективні чисельні методи. Однак, варіаційний підхід завдяки високому рівню формалізації також дозволяє вирішити фундаментальні питання механіки, де векторний підхід стикається з ускладненнями.

На жаль, варіаційні принципи традиційно формують в досить окремому вигляді, що не дозволяє реалізувати усі можливості варіаційного підходу. Зокрема, для дослідження границь пружних параметрів композитів кожного разу доводиться застосовувати узагальнення формулювань варіаційних принципів [1-2] з короткими поясненнями. Оскільки проблема є загальною, є необхідність спеціального її обговорення.

Векторна модель статичної суцільного тіла складається з диференціальних рівнянь рівноваги $\text{div} \sigma + F = 0$, рівнянь Коші $\varepsilon = \frac{1}{2}[\text{grad} U + (\text{grad} U)^T]$ і конститутивних залежностей $L(\sigma, \varepsilon) = 0$, які доповнюється граничними умовами $\sigma_\nu = \sigma_\nu^\Gamma$ на частині границі S_σ , де задані сили і $U = U^\Gamma$ на частині границі S_U , де задані переміщення.

Еквівалентна їй варіаційна модель використовує варіаційні принципи потенціальної енергії $\iiint_V \sigma \bullet \bullet \varepsilon dV - \iiint_V F \bullet U dV - \iint_{S_\sigma} \sigma_\nu^\Gamma \bullet U dS = 0$ в якості статичних залежностей та додаткової енергії $\iiint_V \delta \sigma \bullet \bullet \varepsilon dV - \iint_{S_U} \delta \sigma_\nu \bullet U^\Gamma dS = 0$ в якості кінематичних залежностей.

Обидва підходу є обмеженими достатньо окремими випадками граничних умов. Пропонується обидва варіаційних принципи формулювати одним варіаційним рівнянням $\delta(\iiint_V \sigma \bullet \bullet \varepsilon dV - \iiint_V F \bullet U dV - \iint_S \sigma_\nu \bullet U dS) = 0$, де групи силових та кінематичних функцій варіюються незалежно, а поверхневий інтеграл береться по всій границі тіла. Показано, що це рівняння є еквівалентним узагальненому формулюванню крайової задачі.

Література:

1. Fedorov V.A. Homogenization and boundary estimates of shear stiffness for the composites of the tetragonal structure / V.A. Fedorov // Composites B. — 2016. — Vol. 85. — P. 8—14.
2. Fedorov V. A. Symmetry in a problem of transverse shear of unidirectional composites / V.A. Fedorov // Composites B. — 2014. — Vol. 56. — P. 263—269.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ ВОЛОКНИСТОГО КОМПОЗИТА ХАОТИЧНОГО СТРОЕНИЯ

Федоров В.А., Радионова С.В.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

В данной работе рассматривается двухкомпонентный однонаправленный волокнистый композит хаотического строения. Свойства композита изучаются на образцах в форме параллелепипеда (квадрата). Для их моделирования написана вспомогательная программа для генерации пар случайных чисел, задающих центры непересекающихся окружностей (волокон), и определение координат вершин случайных квадратов образцов на языке Maple.

Виртуальные эксперименты ставятся в условиях однокомпонентных нагружений макротензорами напряжений и деформаций. Примеры распределения микронапряжений $\sigma_3 = \sigma_z$ при одноосном растяжении макронапряжением $\tilde{\sigma}_3$ и одноосном деформировании макродеформацией $\tilde{\varepsilon}_3$ приведены на рисунках 1 и 2 соответственно. На рисунке 3 показаны микронапряжения τ_{13} при чистом сдвиге.

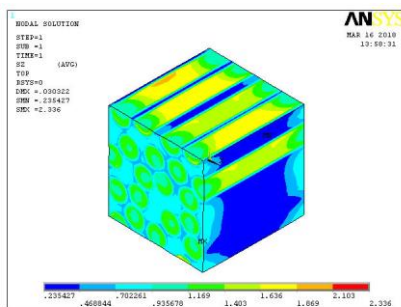


Рисунок 1

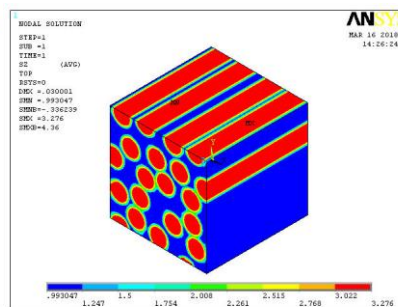


Рисунок 2

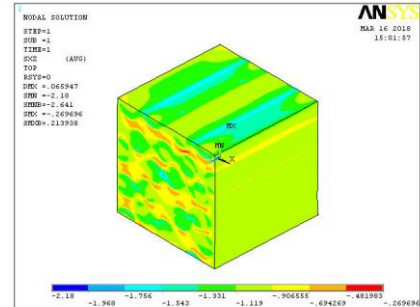


Рисунок 3

В результате решения этих краевых задач микромеханики находятся усредненные значения компонентов деформаций $\tilde{\varepsilon}_i^{(k)}$ и вычисляются элементы матрицы макроподатливости $\tilde{S}_{ij}^{(k)}$ k -ого образца.

$$\tilde{S}_{ij}^{(k)} = \tilde{\varepsilon}_i^{(k)} / \tilde{\sigma}_j, \quad (i, j = \overline{1,6}). \quad (1)$$

Для получения достоверных результатов по определению элементов матрицы податливости композитов с одинаковой объемной концентрацией волокон такие расчеты проводятся на достаточно большом количестве образцов со случайной геометрией с последующей статистической обработкой результатов [1]. Исследование таким образом заданных представительных ячеек позволяет найти математическое ожидание и дисперсии матрицы податливости композита.

Литература:

1. Ломакин В.А. Статистические задачи механики твердых деформируемых тел. М.: Наука, 1970.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СВЕРДЛІННЯ КІСТКОВОГО МАТЕРІАЛУ

Хавін В.Л., Киркач О.Б., Киркач Б.М.
*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Свердління кісткового матеріалу застосовується при багатьох видах хірургічних втручань – в ортопедії, нейрохірургії, стоматології та ін. При цьому важливу роль у забезпеченні якості та ефективності хірургічних операцій відіграє прогнозування та контроль зусиль, що виникають в процесі свердління. Адекватні моделі для оцінки осьового зусилля та крутного моменту при свердлінні кісткових елементів також незамінні при розробці імітаційних схем для хірургічних тренажерів. На сьогоднішній день моделюванню силових параметрів процесу свердління кісткового матеріалу присвячено порівняно невелика кількість робіт. При цьому, як правило, використовуються підходи та методи, розроблені раніше для опису процесів свердління металів і сплавів.

Доповідь присвячено розробці нової теоретично-експериментальної моделі, що дозволяє прогнозувати зміни осьового зусилля та крутного моменту в процесі наскрізного свердління трубчастих кісток, що відносяться до суттєво неоднорідних кісткових матеріалів. Модель являє собою подальший розвиток підходу, що був запропонований та апробований в роботах [1-2], та заснована на гіпотезі про рівномірний розподіл зусиль вздовж частини ріжучої кромки інструменту, що перебуває в контакті із відповідним матеріалом кістки. В рамках запропонованого підходу крутний момент та осьове зусилля визначається через питому роботу різання і об'єм кісткового матеріалу, що видаляється за один оберт свердла, у вигляді відповідних функцій тривалості операції (положення інструменту). Це дозволяє із однаковою точністю визначати силові параметри різання як в процесі стаціонарного свердління зовнішнього шару або серцевини кістки, так і на етапі заглиблення (виходу) інструменту або його переходу із одного матеріалу кістку в інший.

Порівняння результатів розрахунків осьового зусилля і крутного моменту із розрахунковими та експериментальними даними літератури підтверджує, що запропонована модель дозволяє більш достеменно прогнозувати зміну осьового зусилля як у початковій та кінцевій фазах операції, так і у фазі стаціонарного свердління.

Література:

1. Allotta B., Giacalone G., Rinalde L. A hand-held drilling tool for orthopedic surgery. JEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 1997, V.2, № 4, PP. 218-229.
2. MacAvelia T. Force and torque modeling for the drilling of bone for use in orthopaedic haptic simulation systems. Thesis and dissertation, Ryerson University, Toronto, Ontario, Canada, 2012.

DESIGNING OF TRAJECTORY OF THE MOVEMENT OF UAV WITH THE AVOIDANCE OF OBSTACLES

Khatsko N.E., Ryabtseva O.O.

*National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute »,
Kharkiv*

At present, unmanned aircrafts (UAV) are widely used in civilian areas. In this case, the movement of the aircraft can occur within the urban development, mountain relief, etc., thereby assuming the existence of possible obstacles for movement in airspace. Thus, the task of planning a route that avoids collisions with obstacles is relevant for various scope of applications of UAV.

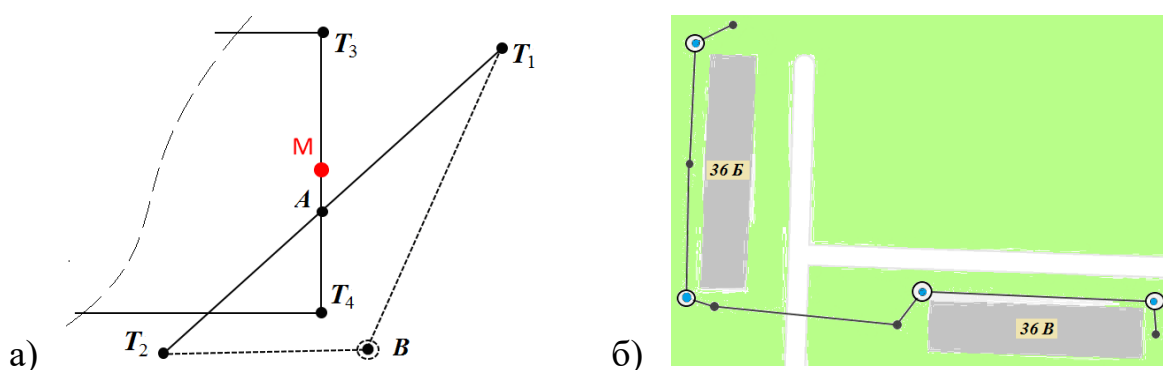
In the report, the problem of constructing the trajectory of a UAV, enveloping obstacles with known coordinates is considered, taking into account the order of visiting the points specified on the map.

The coordinates of the intersection of the flight trajectory with the obstacle contours $A(x_a, y_a)$ (the point of possible collision) are defined as:

$$\begin{pmatrix} x_A \\ y_A \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} [(x_4 - x_3)(x_1 y_2 - x_2 y_1) - (x_2 - x_1)(x_3 y_4 - x_4 y_3)] / [(x_4 - x_3)(y_2 - y_1) - (x_2 - x_1)(y_4 - y_3)] \\ [(x_4 - x_3)(y_4 - y_3)(y_2 - y_1) - (y_4 - y_3)(x_2 - x_1) - (x_3 y_4 - x_4 y_3)] / (x_4 - x_3) \end{pmatrix},$$

where $x_i, y_i, i = \overline{1, 4}$ – the coordinates of the points T_i , shown in Fig. 1,a. Note, that the points T_1, T_2 are specified in the flight task and are required to visit, and the T_3, T_4 points are known and belong to the contour of the obstacle. When an obstacle is detected, the coordinates of the additional point B are calculated, to which the following section of the trajectory is build.

To simulate the work of the proposed algorithm, a program was written in the java-language, the result of which is the trajectory of the UAV, enveloping the obstacles indicated on the map. An example of how the program works is shown in Fig. 1,b.



a) construction of point B to fly over the obstacle;
b) the resulting flight path.

Figure 1 – Construction of the flight trajectory.

The developed algorithm can be applied in the areas related to the delivery of light cargo, protection of forests and reserves, with control and protection of fuel storage facilities, etc.

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ БЕЗПЛОТНИМ ЛІТАЛЬНИМ АПАРАТОМ ПРИ НЕТОЧНОМУ ВИМІРІ ВЕКТОРА СТАНУ І ЗМІННИМИ ПАРАМЕТРАМИ ТОЧНОСТІ

Хацько Н.Є., Макогон О.А., Харсун І.М., Куровський І.Д.

Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут»,

Військовий інститут танкових військ Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків

У доповіді розглянуто проблему використання вихідної інформації інерціальної навігаційної системи в якості вхідних даних для синтезу керуючого впливу на БПЛА та отримано аналітичний вираз для розрахунку значень керуючої функції прискорення, в якому враховано значення узагальненої помилки вимірювань інерціального модуля і рівень зовнішнього динамічного обурення.

Розглянуто задачу термінального управління літальним апаратом за інформацією безплатформної інерціальної навігаційної системи, в якій за заданий час потрібно перевести апарат у задане просторове положення з необхідним значенням вектора кінцевої швидкості.

На прикладі спрощеної моделі проведено комп'ютерне моделювання руху літального апарату. Доведено, що точність приведення вектора стану в задану кінцеву точку залежить від рівня збурень і похибки вхідної інформації. Проведено чисельні експерименти, що дозволяють виявити вплив чисельного значення глибини прогнозу, використаного в синтезі управління за методом переслідування провідною точки, на точність рішення термінальної задачі.

Сформульовано рекомендації для проектування алгоритмів автоматичного управління рухом в комплексі з проектуванням інформаційно-вимірювальної системи.

При виборі змінного значення глибини прогнозу в законі синтезу за методом переслідування провідної точки рекомендується врахувати наступне:

- якщо інформаційно-вимірювальна інерціальна система забезпечує отримання координат і швидкості об'єкта з високою точністю, тобто інерціальні датчики мають малі помилки вимірювань, то обраний параметр прогнозу повинен бути мінімальним;
- при використанні датчиків низькою точністю параметр прогнозу слід збільшити.

Література:

1. Performance Based Navigation. Doc 9613. – Montreal: ICAO, 2008. – 290 p.
2. Батенко А. П. Системы терминального управления. / А. П. Батенко – М.: Радио и связь, 1984. –160 с.
3. Хацько Н. Е. Исследование возможности управления полетом по данным инерциальных датчиков низкого класса точности / Н. Е. Хацько // Проблемы машиностроения. – Харків: ППМАШ, – 2013. – Т.16, №5. – С. 32–35.

ДИНАМІЧНА МІЦНІСТЬ КОМПОЗИТНОГО КОРПУСУ ТВЕРДОПАЛИВНОГО ДВИГУНА РАКЕТИ-НОСІЯ В ПОЛЬОТІ

^{1,2}Чернобривко М.В., ^{1,2}Аврамов К.В., ²Успенський Б.В.

¹Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут»,

²Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного

НАН України, м. Харків

В останні роки в аерокосмічній галузі спостерігається тенденція заміни металевих сплавів композитними матеріалами. Так, елементи корпусів ракет-носіїв виготовляють з композитних матеріалів, зокрема, корпус твердопаливного двигуна також є композитним. Виготовлення твердопаливного двигуна з композитних матеріалів дозволяє значно знизити його вагу. Найбільш небезпечним з точки зору динамічної міцності корпусу твердопаливного двигуна є етап старту ракети, коли на корпус двигуна діють значні нестационарні динамічні навантаження, що можуть призвести до поломок. Після закінчення етапу старту на корпус твердопаливного двигуна діють сталі в часі навантаження, які не можуть його зруйнувати. Одним з критеріїв працездатності твердопаливної ракети є її міцність, що пов'язана з нестационарними динамічними процесами в корпусі двигуна. При проектуванні ракети параметри тонкостінного композитного корпусу твердопаливного двигуна обираються так, щоб задовольнити низці різних критеріїв, одним з яких є його міцність.

Досліджується динамічна міцність композитного корпусу твердопаливного двигуна під дією внутрішнього імпульсного тиску, який описує робочі процеси в двигуні. Корпус розглядається як складена композитна оболонка, яка має три частини: ліве днище, центральну циліндричну частину і праве днище. Днища мають форму усічених півсфер заданого радіусу. Днища жорстко закріплені через зовнішні краї з центральною частиною. Поза зоною кріплення з днищами циліндрична частина оболонки має сталу товщину. На ділянці з'єднання циліндру з днищами товщина конструкції лінійно змінюється вдвічі. Товщина днищ поза зоною закріплення також є сталою. При протіканні робочих процесів в твердопаливному двигуні виділяється велика кількість теплоти. Швидкість протікання теплових процесів в композитному матеріалі твердопаливного ракетного двигуна дуже мала, тому корпус двигуна нагрівається повільно.

Проведено чисельні дослідження динамічного напружено-деформованого стану типової конструкції за даними ДКБ «Південне». Результатом аналізу її динаміки є залежність від часу і максимального імпульсного тиску переміщень і компонентів тензору напружень. Результати математичного моделювання дозволили оптимізувати товщину конструкції та зменшити кількість експериментальних досліджень.

ДИНАМІЧНА МІЦНІСТЬ КОМПОЗИТНИХ ОБТІЧНИКІВ РАКЕТ ПІД ДІЄЮ КУМУЛЯТИВНОГО ЗАРЯДУ

^{1,2}Чернобривко М.В., ^{1,2}Аврамов К.В., ²Успенський Б.В.

¹Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут»,

²Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного

НАН України, м. Харків

Основною тенденцією сучасного аерокосмічного машинобудування є здешевлення готової продукції зі збереженням її надійності та функціональності. З цією метою експериментальні дослідження динамічної міцності та руйнування обтічників замінюються на етапі загального проектування чисельним моделюванням. Моделювання дозволяє значно скоротити час розробки та суттєво зменшити витрати на удосконалення конструкції. Особливого значення ця проблема набуває для нових композитних обтічників, експлуатація яких передбачає своєчасне руйнування.

Розділення головного обтічника на дві частини в польоті відбувається внаслідок спрацьовування детонуючого пристрою з кумулятивним зарядом. Потужність пристрою вибирається так, щоб забезпечити руйнування конструкції по товщині в заданій локальній зоні та забезпечити непошкодженість корисного вантажу. Для чисельного аналізу впливу товщини обтічника, модифікації детонуючого пристрою, зони його кріплення та кількості детонуючої речовини необхідна адекватна математична модель пружно-пластичного високошвидкісного деформування та руйнування композитних оболонок під дією імпульсного тиску, який моделює вплив кумулятивного заряду.

Фізика процесів, що протікають в елементах конструкцій під дією високошвидкісних навантажень, досить складна. Відмінною особливістю імпульсного та детонаційного навантаження є високий рівень напружень в матеріалі, що діють протягом короткого проміжку часу. Це призводить до високої швидкості деформування й руйнування конструкції. Для розглянутих композитних матеріалів характерна зміна властивостей міцності матеріалу в залежності від величини та швидкості деформації, утворення локальних областей пластичної течії. Таким чином, при моделюванні деформування й руйнування конструкцій необхідно враховувати зазначені зміни фізичних властивостей матеріалу. Крім того, розрахункові моделі потребують використання 3D геометричних моделей, оскільки локалізація процесу деформування не дозволяє використання оболонкових теорій.

Для комплексного урахування руйнуючої дії детонуючого пристрою, конструкція якого надана ДКБ «Південне», розроблено математичну модель, що враховує особливості конструкції пристрою, фізичні властивості детонуючої речовини та взаємне розташування пристрою та оболонки. Результати моделювання задовільно збігаються з експериментальними дослідженнями.

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СТАЛИ ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ ЕГО МИКРОСТРУКТУРЫ

Шаповалова М. И., Водка А. А.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
м Харьков*

В последнее время стали широко использоваться нейро-сетевые технологии во все возможных отраслях человеческого бытия. Основными направлениями, в которых все чаще встречается применения нейронных сетей, являются задачи классификации, предсказания и распознавания. Большой интерес для промышленности и производств, имеющих дело с металлами и их сплавами, представляет наука материаловедение. Последняя - активно занимается изучением структуры материала, в частности опираясь на результаты металлографического анализа. Прогноз свойств материала при различных обработках и условиях эксплуатации, исходя из изображения их микроструктуры, является важнейшей целью многих исследований.

Ключевой задачей данного исследования, является качественная и количественная оценка материала, создание связи между изображением его микроструктуры и свойствами материала. На этом этапе работы была создана база данных некоторых сталей, содержащая информацию о марке стали, химическом составе, технологии обработки и непосредственно изображений микроструктуры материала. Ставилась цель создать алгоритм вычисления химического состава вещества, распознавая данные изображения его микроструктуры и с вероятностью предсказывать марку стали, наиболее подходящую к такому химическому составу.

Реализация алгоритма вычисления проводилась средствами высокоуровневого языка программирования Python, для распознавания и анализа микроструктуры создавалась простейшая искусственная нейронная сеть прямого распространения, в которой все связи имеют строгое направление от входных нейронов к их выходам. Нейронная сеть походил обучение с учителем. Выход сети сравнивался с обучающей выборкой, и для уменьшения ошибки распознавания прибегали к изменению весов, для достижения нужного уровня ошибки по обучающим данным. Проводилась проверка адекватности полученного решения на тестовой выборке.

Созданный подход анализа микроструктуры материала с использованием искусственной нейронной сети, позволяет связать химический состав материала с его изображением.

Литература:

1. Frank J. S. Image processing and pattern recognition: fundamentals and techniques / J. S. Frank // Wiley- IEEE Press, 2010. — 537 p. — ISBN: 978-0-470-40461-4

СЕКЦІЯ 3. ТЕХНОЛОГІЯ ТА АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ В МАШИНОБУДУВАННІ

НАДІЙНІСТЬ ТОРЦЕВОГО УЩІЛЬНЕННЯ ЛАБІРИНТНО- ГВИНТОВОГО НАСОСА

¹Андренко П.М., ²Лебедєв А.Ю., ¹Василенко Д.А.

¹*Національний технічний університет*

«Харківський політехнічний інститут»,

²*ТОВ «ХЗТФ «Моторімпекс», м. Харків*

Торцеві ущільнення, в яких рухома ущільнююча поверхня контактує з зовнішньою по верхньою вала у площині, перпендикулярній до вісі валу, найкращим чином забезпечують герметичність, великий термін роботи при відносно малих втратах потужності на тертя. Таке ущільнення, зазвичай, містить пружину, ущільнююче кільце, виготовлене з антифрикційного матеріалу, та контактуючого з ним по торцю металевого опорного кільця яке має високу твердість. При цьому одно з кілець повинно вільно пересуватися вздовж вісі. Попереднє підтиснення кілець, а отже контактний тиск при відсутності перепаду тиску, здійснюється пружиною яка має значний вплив на надійність торцевого ущільнення. Слід зазначити, що при великій жорсткості пружини підвищується сила тертя між ущільнюючими поверхнями, а при малій – збільшується імовірність суттєвого збільшення витоків – «розкриття» ущільнення. Це обумовлено тим, що радіальний зазор має клиноподібну форму. У доповіді розглядається надійність торцевого ущільнення в припущенні, що безпосередній контакт поверхонь пари тертя відсутній, а течія рідини в зазорі підпорядковується гідродинамічному закону. Наведені результати прогнозування надійності торцевого ущільнення лабіринтно-гвинтового насоса (ЛГН) методом марківської апроксимації. В літературних джерелах встановлено, що визначальним параметром, який характеризує працездатність торцевого ущільнення ЛГН, є зношення ущільнюючих поверхонь. За даними експериментальних досліджень торцевого ущільнення ЛГН встановлені значення зношення ущільнюючих поверхонь δ в різні проміжки часу – t .

Оскільки на початку експлуатації $\delta = 0$, то як початкові значення імовірностей станів при $t = 0$ приймали $P_0 = 1, P_1 = P_2 = P_3 = 0$. Відзначимо, що межі поля допусків δ_{\max} і δ_{\min} задані технічними умовами. На трьох рівнях робили квантування поля зношування: $t_0 = 1\,000$ год; $\Delta\delta_0 = \delta(t_0) - \delta_0(0) = 0,02 \cdot 10^{-3}$ мм; $t_1 = 5\,000$ год; $\Delta\delta_1 = \delta(t_1) - \delta(t_0) = 0,04 \cdot 10^{-3}$ мм; $t_2 = 10\,000$ год; $\Delta\delta_2 = \delta(t_2) - \delta(t_1) = 0,053 \cdot 10^{-3}$ мм. Для інтервалів квантування розраховували інтенсивності переходів за рівнями квантування – коефіцієнти рівнянь імовірності працездатного стану ущільнення: $\nu_0 = 1/t_0$; $\nu_1 = 1/t_1$; $\nu_2 = 1/t_2$. Задавалися часом t та за системою рівнянь марківського процесу яку розв'язували за допомогою перетворення Лапласа знаходили значення імовірності безвідмовної роботи – $P(t)$. Для 10 000 год роботи торцевого ущільнення вона становить 0,637, при цьому математичне очікування становить $0,072 \cdot 10^{-3}$ мм, а дисперсія – $0,0029 \cdot 10^{-6}$ мм². Розроблена методика може бути використана при розрахунку надійності торцевого ущільнення ЛГН, вибору матеріалу його ущільнюючих поверхонь.

ПРО ВІБРОЗАХИСТ ПРЕЦИЗІЙНИХ РОТОРНИХ СИСТЕМ З ПРУЖНИМИ АДАПТИВНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ КВАЗІНУЛЬОВОЇ ЖОРСТКОСТІ

Гайдамака А.В., Клітної В.В., Наумов О.І.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Експлуатаційні частоти обертання роторних систем багатьох сучасних машин лежать вище перших власних частот. Тому при розгоні і гальмуванні ротор проходить через декілька резонансів, що супроводжуються значними динамічними навантаженнями. Для зменшення перевантажень підшипників в роторних системах застосовують пружні опори. Такі опори разом з незаперечною перевагою у вигляді простоти конструкції не здатні миттєво і в необхідних межах змінювати жорсткість під час переходу ротора через резонанс. Перехід ротора через резонанс з миттєвою зміною жорсткості може бути забезпечений шляхом використання пружних систем з квазінульовою жорсткістю. Мала жорсткість пружного елемента вимагає достатньо точного налаштування на розрахункове навантаження. Отже, виникає потреба розробки пружних віброзахисних систем, які допускають їх автоматичне налаштування для заданого діапазону зміни зовнішнього навантаження на підшипники ротора, тобто систем з керованою жорсткістю. Недоліками відомих систем з керованою квазінульовою жорсткістю є складність конструкцій, та обмеженість області їх застосування.

У роботі представлена концепція удосконалення віброзахисних систем з керованою квазінульовою жорсткістю за рахунок використання адаптивних елементів. В якості матеріалу для адаптивних елементів пропонується використовувати п'єзоелектричну кераміку, висока інтегрованість і широкий робочий частотний діапазон функціонування якої є найбільш корисними властивостями для застосування в системах активного управління вібраціями.

Запропонований базовий варіант конструктивної схеми опори вирішує завдання віброзахисту роторних систем за рахунок того, що реакція системи відстежується за допомогою допоміжного керуючого елемента і у якості вхідного сигналу поступає до системи активного контролю, яка у свою чергу аналізує сигнал і, використовуючи алгоритм керування, змінює пружні властивості центрального активного елемента, за рахунок чого продовжується дія квазінульової жорсткості.

МОДЕЛІ ВЗАЄМОДІЇ ДЕТАЛЕЙ НЕШВИДКІСНИХ РОЛИКОВИХ ПІДШИПНИКІВ

Гайдамака А.В., Наумов О.І.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Мета дослідження – удосконалити і розробити математичні моделі статички, кінематики, динаміки циліндричних роликотішипників залізничного рухомого складу. Результати цього дослідження стануть основою розробки методу розрахунку сепараторів на втомну міцність при згині та методу розрахунку надійності підшипників з урахуванням витривалості сепаратора.

Уточнення моделі статичного розподілу зовнішнього радіального та осьового навантажень між роликами здійснено при допущеннях, що всі деталі мають ідеальну геометричну форму, перекося кілець відсутні, внутрішнє кільце не згинається, зазори в підшипнику з ідеальною геометрією деталей відсутні, а пружні радіальні контактні деформації кілець з роликами уздовж всієї довжини роликів пропорційні малому куту перекося кілець і полягає у застосуванні нових геометричних рівнянь.

Розробку моделей кінематики здійснено для «ідеальних» підшипників (не враховано відхилення розмірів деталей від номінальних і зазори у вікнах сепаратора) та «реальних» (враховано відхилення розмірів деталей від номінальних і зазори у вікнах сепаратора). За результатами моделювання обґрунтовано нову гіпотезу передачі руху від роликів до сепаратора.

За опрацьованою моделлю кінематики упорядкованого руху роликів запропоновано схему силових взаємодій сепаратора з деталями ідеальної геометричної форми в областях натискування тягового (ведучого) і гальмівного (веденого) ролика на перемички сепаратора. Розроблено схеми силових взаємодій роликів в зоні радіального навантаження підшипника з урахуванням контактних деформацій роликів, що котяться без проковзування по кільцях, які не згинаються, та кілець.

ПІДШИПНИКИ КОЧЕННЯ: ОГЛЯД МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ

Гайдамака А.В., Скиба О.С.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

При проектуванні машин динамічно навантажені підшипники кочення підбирають на основі розрахунку довговічності (ресурсу). Формула для визначення ресурсу підшипників включає багато емпіричних коефіцієнтів, тому результати розрахунку можуть іноді суттєво (у десятки разів) відрізнятися від фактичного терміну експлуатації. Разом з тим в Україні на тепер відсутні книги, довідники, монографії з підшипників кочення, де були б проаналізовані сучасні підходи з удосконалення методу розрахунку підшипників. Вказане спонукало авторів до огляду відомих публікацій з питання сучасного стану теорії розрахунку динамічно навантажених підшипників кочення.

Проведений аналіз публікацій з методу розрахунку динамічно навантажених підшипників кочення дозволив виявити дві основні тенденції розвитку теорії, які уточнюють розрахунки контактної витривалості кілець і враховують різні види пошкоджень шляхом моделювання зовнішніх і внутрішніх факторів впливу.

Врахування впливу на ресурс підшипника пошкоджень різної фізичної природи за умови їх статистичної незалежності розвивається на основі напівемпіричних та ймовірнісних моделей.

Перспективними напрямками удосконалення сучасного методу розрахунку ресурсу підшипників вважається уточнення коефіцієнту, що узагальнює сумісний вплив якості метала, особливостей технології виробництва, конструкції та умов експлуатації, і коефіцієнтів, що враховують різні види пошкоджень.

Оцінка впливу конструктивних особливостей підшипників і підшипникових вузлів здійснюється числовими розрахунками із застосуванням спеціальних програмних продуктів з наступною експериментальною перевіркою.

КОМПЛЕКСНЕ РІШЕННЯ ОПТИМІЗАЦІЙНИХ ЗАДАЧ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ АДИТИВНИМИ ТЕХНОЛОГІЯМИ

Гаращенко Я.М.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Ефективність використання адитивних технологій (АТ) суттєво визначається на етапі технологічної підготовки при виконанні оптимізаційних задач по визначенню раціональних параметрів та стратегії виготовлення за вихідною 3D-моделью виробу.

Основними задачами технологічної підготовки АТ є:

- підбір обладнання та технології для забезпечення раціонального співвідношення якості, точності поверхонь виробу Δ_{Error} та собівартості його отримання (безпосередньо залежне від часу побудови T_L);
- зворотна декомпозиція виробу (дозволяє збільшити питоме використання робочого простору установки V_P та зменшити час T_L);
- орієнтація виробу в робочому просторі установки (впливає на якість поверхні виробу, на відхилення від правильної форми Δ_{Error} та час T_L);
- розсічення моделі на шари (стратегія підбору товщини шарів визначає раціональне поєднання таких параметрів як похибка Δ_{Error} та час побудови T_L);
- розміщення виробу в робочому просторі (істотно впливає на час T_L та питомий об'єм V_P).

Загальноприйнятим є послідовне вирішення задач технологічної підготовки АТ. Існуюче програмне забезпечення дозволяє вирішувати ці задачі, але не цілком ефективно для забезпечення раціонального співвідношення якості виробу, продуктивності процесу пошарової побудови і мінімального використання первісного матеріалу. Ускладнює таке вирішення також особливість опису виробів тріангуляційними (полігональними) 3D моделями.

В останнє десятиліття все більше з'являється дослідних робіт спрямованих на спільне рішення окремих оптимізаційних задач. Такий підхід дозволяє розширити технологічні можливості адитивних технологій та сферу їх застосування. У даній роботі пропонується концепція технологічної підготовки адитивного виробництва складних виробів, в рамках якої вирішуються спільно основні (перераховані вище) задачі на базі методології статистичного аналізу полігональної, воксельної і пошарової моделі. Використання трьох різновидів моделей дозволяє мінімізувати обмеженість, що викликана при використанні тільки вихідної тріангуляційної моделі. Такий підхід дозволяє врахувати вимоги кожної з задач при використанні єдиних критеріїв оцінки ефективності пошарового виготовлення виробів.

Дослідження можливостей комплексної технологічної підготовки АТ виконується в системі "Технологічна підготовка матеріалізації складних виробів адитивними технологіями" розробленої на кафедрі "Інтегровані технології машинобудування" НТУ "ХПІ".

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОГО КЛАПАНА НЕПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ НА БАЗЕ РАЗРАБОТАННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Гасюк А. И., Мараховский М. Б., Медведев М. Е.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

В современных гидросистемах технологических машин применяют предохранительные клапаны непрямого действия. Для клапана как системы регулирования и управления существуют два сигнала переходного процесса, а именно сигнал управления (ток электромагнита) и сигнал возмущения (увеличения расхода через клапан).

При использовании клапана в гидравлической системе для стабилизации давления рабочей среды наиболее важным является переходной процесс (при заданном сигнале управления), связанный с увеличением расхода через клапан. Параметрами этого процесса являются величина заброса давления на входе клапана и постоянные времени этого процесса.

С точки зрения статической характеристики клапана как объекта дистанционного пропорционального управления важны линейность и гистерезис этой характеристики. А как объект регулирования давления важна независимость настроенного давления от изменения расхода в диапазоне от Q_{\min} до Q_{\max} .

Разработанная математическая модель основывается на системе нелинейных уравнений динамики клапана. Рассматривается математическая модель предохранительного клапана с пропорциональным управлением КПП – 50/32 Т.

Полученная модель позволяет определить статические характеристики клапана для диапазона изменения сигнала управления (тока электромагнита) и расхода через клапан соответственно 0 – 1 А и 0 – 1500 л/мин.

Кроме того, на базе разработанной математической модели возможно исследовать динамические характеристики (величину перерегулирования, и постоянную времени переходного процесса) предохранительного клапана.

ПОЛІПШЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГІДРОПРИВОДУ ОБ'ЄМНОГО РЕГУЛЮВАННЯ.

Гладкий П.М., Гайдамака А.В.

***Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків***

Розглянуто ряд способів поліпшення динамічних характеристик приводу об'ємного регулювання, при організації часткового модального управління з використанням частки координат стану, на базі двох цільових функцій, що характеризують основні параметри перехідного процесу. Отримані оптимальні параметри контура замикання, показано, що при цьому динамічні характеристики гідроприводу поліпшуються.

При проектуванні гідравлічних приводів, параметри перехідного процесу і частотні характеристики задовольняють вимогам, що зазвичай пред'являються до гідроприводу, проте, при розширенні області використання гідроприводу можливі строгіші вимоги до всіх характеристик, насамперед до зони нечутливості і до АФЧХ при малих керуючих сигналах.

Для поліпшення цих характеристик, необхідно збільшити добротність замкнутого контура як мінімум в два рази. Проте, при такій добротності привід втрачає стійкість. Таким чином, необхідно вирішити вимогу забезпечення стійкості при прийнятних показниках якості перехідних процесів.

Існує багато шляхів рішення такої задачі. Проте, як правило, всі такі шляхи вимагають або додаткових гідромеханічних пристроїв, або ускладнення аналогової електронної частки контура управління, або використання цифрових процесорів для реалізації складних алгоритмів управління.

Найбільш прийнятним шляхом підвищення динамічних характеристик для даного приводу представляється організація додаткових зворотних зв'язків по координатах стану приводу. Як відомо, якщо розглядати лінійну систему, при організації так званого "модального управління", тобто при використанні зворотних зв'язків по всіх координатах стану, можна отримати будь-яку, наперед задану якість перехідного процесу. Оскільки всі координати стану, як правило, спостерігати не вдається, можна застосувати так зване часткове модальне управління, з використанням частки координат. У такому разі, при вдалому підборі спостережуваних координат, можна отримати прийнятну якість регулювання.

У нашому випадку як спостережувана координата можна використовувати сигнал з тахогенератора (відповідає швидкості переміщення похилої шайби насоса). Відомо, також, що позитивний вплив на динаміку надає зворотний зв'язок за швидкістю поршня силового гідроциліндра. Таким чином, представляється доцільним розглянути вплив цих координат на динаміку приводу. Хоча швидкість поршня силового гідроциліндра в явному вигляді в існуючій структурі отримати не можна, проте, використовуючи сигнал з датчика зворотного зв'язку по положенню поршня силового гідроциліндра, шляхом його диференціювання можна отримати швидкість.

ВИЗНАЧЕННЯ ЖОРСТКОСТІ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБ'ЄМНОГО РЕГУЛЬОВАНОГО ГІДРОПРИВОДА

Григоров О.В., Аніщенко Г.О., Турчин О.В., Цебренько М.В., Зюбанова Д.М.

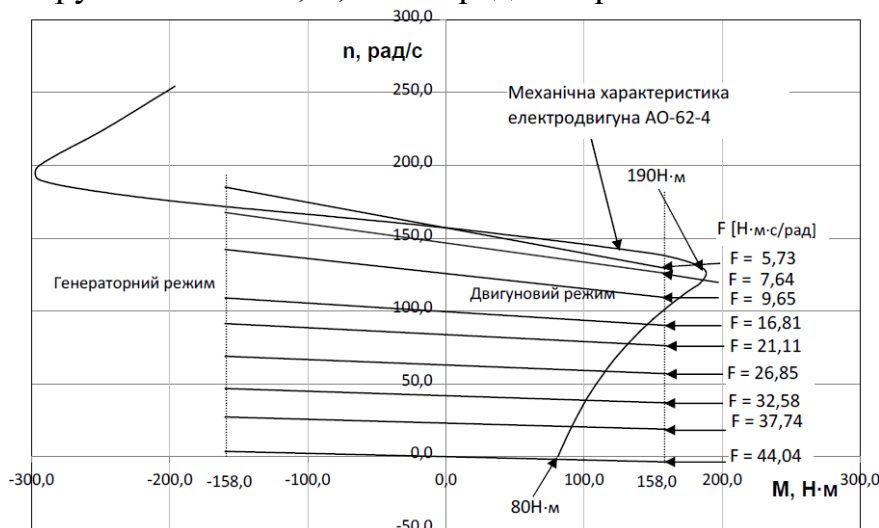
*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

На кафедрі ПТМ і О створено стенд для дослідження регульованого об'ємного гідропривода пересування мостового крану. Стенд оснащений сучасною інформаційно-керуючою системою і дозволяє вимірювати і записувати різноманітні параметри.

В процесі проведення експериментів ми звернули увагу на жорсткість механічних характеристик гідроприводу і зафіксували її при різних швидкостях і навантаженнях. Як виявилось (рис. 1) безкінечна кількість механічних характеристик не паралельні один до одної (як це в більшості досліджень і посібників представляється), а розташовані під різними кутами до горизонту і їх величина (жорсткості) в нашому випадку коливається в межах від $F = 44,64$ Н·м·с/рад до $5,73$ Н·м·с/рад. Це дозволяє в подальших теоретичних дослідженнях різних механізмів закладати жорсткість F змінною в залежності від швидкості обертання гідромотора ω , рад/с, наприклад, в диференційному рівнянні руху гідроприводу

$$T_{\text{мех}} \cdot \omega + \omega = K_{\omega} \cdot \gamma - M/F,$$

де $T_{\text{мех}}$, с – механічна постійна; ω , рад/с – швидкість гідромотора; K_{ω} , с⁻¹ – коефіцієнт підсилення швидкості; γ , рад – параметр керування; M , Н·м – крутний момент; F , Н·м·с/рад – жорсткість механічної характеристики.



Паралельно з цим була отримана механічна характеристика приводного електродвигуна АО-62-4 і знову деяка новина для механіків.

Рис.1 Механічні характеристики електрогідропривода (сумісно електродвигун АО-62-4, насос ПД №5, гідромотор ПМ №5) та окремо двигун АО-62-4

Виявлено, що опрокидний момент цього двигуна в генераторному режимі в 1,73 рази більший ніж в двигуновому режимі. Це пояснює ефект перекидання електродвигуна при великій швидкості зміни параметра регулювання насосу у двигуновому режимі і відсутність перекидання у режимі регенерації.

ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ВІЗКОМ КРАНА З ПІДВИЩЕНОЮ ШВИДКІСТЮ ПЕРЕСУВАННЯ

Григоров О.В., Стрижак В.В., Стрижак М.Г.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Підвищення робочих швидкостей механізмів є одним з ефективних шляхів збільшення продуктивності вантажопідйомних машин. Разом з цим зростає і розгойдування вантажу, який знаходиться на гнучкому підвісі. Це в свою чергу ускладнює управління, ускладнює завдання точного позиціонування вантажу і створює додаткові навантаження на механізми. Тому ефективне підвищення робочих швидкостей неможливо без застосування законів оптимального управління і сучасних приводів з мікроконтролерними системами керування, які зможуть їх реалізовувати.

Сучасні дослідження в області оптимального керування кранів з гнучким підвісом вантажу спрямовані на вдосконалення математичних моделей і оптимізацію руху стрілових, козлових і мостових кранів, врахування змінної довжини підвісу і форми підвішеного вантажу.

Завдання прийняття до уваги характеристик типу приводу в системах оптимального управління ще не знайшло широкого висвітлення в публікаціях і вимагає подальшого вивчення. Актуальність цього завдання пов'язана з широкими можливостями і різноманітністю сучасних приводних систем, а також із завданням економії енергії та зниження динамічних навантажень.

Крановий електропривод з частотним керуванням і перетворювачем частоти інверторного типу в наш час переважає при випуску нових кранів. Застосування перетворювача частоти в поєднанні з асинхронним короткозамкненим електродвигуном дозволяє створити електропривод з високими експлуатаційними характеристиками і швидкою окупністю. У публікаціях зазвичай відзначається висока економічність і плавність регулювання швидкості електродвигуна вниз від номінальної. Можливість регулювання швидкості вгору від номінальної залишається без уваги, оскільки при цьому сильно падає здатність навантаження електродвигуна. Однак, в механізмах пересування вантажопідйомальних машин, динамічне і статичне навантаження може змінюватися в широких межах. Тому стає можливе використання підвищеної швидкості і таким чином може бути збільшена швидкодія. Приводяться результати експериментального дослідження оптимальних за швидкодією законів керування з використанням підвищеної швидкості пересування, які отримано на основі динамічної моделі «візок-вантаж». Виконано оцінку зменшення тривалості робочого циклу механізму пересування.

ВЛИЯНИЕ КОНТАКТНЫХ ЯВЛЕНИЙ НА БОКОВЫЕ СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА КОЛЕСА КРАНА

Григоров О.В., Турчин О.В.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Движение каждого колеса крана происходит по индивидуальной траектории, определяемой действующими на него силами. Поперечные перемещения в пределах межребордных зазоров, а также забегание одной из сторон крана, в свою очередь, вызывают деформации моста и упругие силы. Контактно-фрикционное взаимодействие колес с рельсами оказывает существенное влияние на формирование нежелательных перекосных нагрузок.

Соответствующие явления достаточно хорошо изучены в железнодорожной отрасли, однако для кранов большинство вопросов остаются открытыми, поскольку на сегодняшний день проведены лишь отдельные эксперименты, не охватывающие все возможные сочетания параметров. Тем не менее, можно говорить о принципиальных отличиях, затрудняющих корректное моделирование движения в приложениях, первоначально ориентированных на железнодорожную технику.

Характерной особенностью является нестабильность коэффициента сцепления в широких пределах, связанная с образованием пленок окислов при остановках и их очищении при движении. Это явление, качественно зафиксированное в экспериментах Х.-О. Ганновера и В.С. Мюнтеля [1], требует дальнейшего изучения, поскольку скорость очищения определяется, вероятно, не только числом прокатываний в единицу времени, но и контактными напряжениями.

Величина контактных напряжений имеет в рассматриваемом процессе отдельное значение. При увеличении этих напряжений силы сцепления быстро падают. Для приводных колес силы поперечного сцепления снижаются также с увеличением сил продольного сцепления. Все виды контактных процессов непостоянны также в связи с постепенным накатыванием беговых дорожек на рельсах и колесах.

Перечисленные явления не учитываются в существующих упрощенных инженерных методиках расчетов кранов, поскольку наибольшие величины сил и сопротивлений известны и в целом не вызывают сомнения, однако, например, при минимизации энергопотребления, при обосновании необходимости использования антиперекосных систем управления и в других сложных случаях требуются более точные оценки не только наибольших кратковременно действующих, но и длительно действующих величин. Для решения подобных задач необходим детальный учет всех параметров, влияющих на контактные явления.

Литература:

1. *Scheffler M. Fördermaschinen: Hebezeuge, Aufzüge, Flurförderzeuge / M. Scheffler, K. Feyrer, K. Matthias. – Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 1998. – 476s.*

СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ В ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ЖЕСТКОЛОПАСТНЫХ ГИДРОТУРБИН

Гришин А.М.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

В жестколопастных гидротурбинах, наибольшей амплитудой обладают низкочастотные пульсации давления, уровень которых определяется, в основном, эксцентриситетом и величиной циркуляции вихревого жгута за рабочим колесом. Эти параметры жгута изменяются в поле универсальной характеристики. Циркуляция жгута в функции приведенного расхода изменяется от некоторого положительного значения при малых расходах, до отрицательного значения при больших расходах и равна нулю в окрестности оптимума. При этом суммарная циркуляция по внешнему контуру области течения в сечении, нормальном оси гидротурбины, будет иметь при малых расходах большое положительное значение, а при больших расходах – приближаться к нулю или иметь небольшие отрицательные значения. Эксцентриситет вихревого жгута достигает максимума на режимах с частичной нагрузкой, а также на режимах с форсированной мощностью.

В литературе описано большое количество практических способов снижения низкочастотных жгутовых колебаний давления в отсасывающих трубах гидротурбин. Однако, чаще всего, в данных работах не раскрывается сам механизм уменьшения уровня пульсаций, что затрудняет выбор наиболее эффективного, в каждом конкретном случае, способа без проведения большого объема экспериментальных исследований.

Проведен анализ различных способов борьбы с низкочастотными колебаниями давления, вызванными вихревым жгутом за рабочим колесом гидротурбины: наварка плоских ребер вдоль образующей конуса отсасывающей трубы, удлинение ребер до оси гидротурбины либо сочетание удлиненных ребер с полым цилиндром, расположенным вдоль оси, изменение геометрии лопастей рабочего колеса, формы и размеров обтекателя. Проанализированы диапазоны режимов, при которых эти мероприятия применимы и эффективны.

Предотвратить возникновение вихревого жгута в широком диапазоне режимов, прилегающих к оптимальным и ослабить его интенсивность при режимах, далеких от оптимальных, можно с помощью неподвижных оребренных обтекателей или с помощью крестовины с ребрами, расположенными в зоне обтекателя. Воздействие таких противожгутовых устройств на поток примерно одинаково и при режимах с частичной нагрузкой и при режимах с форсированной мощностью.

Таким образом, учитывая, что вихревой жгут возникает в результате циркуляции потока у корневых сечений решетки рабочего колеса, становится очевидным, что наиболее эффективными методами снижения низкочастотных колебаний давления в гидротурбинах могут быть методы, воздействующие на поток в зоне обтекателя рабочего колеса.

ЗАСОБИ БЕЗДРОТОВОГО ТЕНЗОМЕТРИЧНОГО КОНТРОЛЮ СТАНУ ПІДЙОМНИХ КРАНІВ

Гусаков К. В. Губський С. О.

***Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків***

При дослідженні стану балок підйомного крана використовуються такий засіб як тензометрія.

Принцип роботи тензорезистора гранично простий. При розтягуванні провідних елементів тензорезистора збільшується їх довжина і зменшується поперечний переріз, що збільшує опір тензорезистора (а при стисненні – зменшує). Варто відзначити, що зміни опору при деформації дуже малі, тому фахівцям не обійтися без точних визначальних приладів. Але якщо вимірювати такі малі значення, то можна наштотхнутись на похибки в передачі сигналу. Вони будуть більш помітні якщо використовувати звичайні дроти. Навіть можуть взагалі зіпсувати отриманні данні.

Існує проблема з опором з'єднувальних проводів, але вона вирішується просто: менше проводів – менший їхній опір. Тому датчик розміщується настільки близько до мосту, наскільки це можливо. Та бездротова передача даних [1]. Наприклад через такий розповсюджений спосіб зв'язку як Bluetooth. Для програмування необхідних в роботі схем доцільно використовувати дешеву платформу Arduino. В ця система має досить простий програмний код, і його можна використовувати для різноманітних типів датчиків та їх положень. Та якщо налаштувати достатню кількість тензодатчиків на бездротову систему передачі даних, можна створити цілу систему по нагляду навіть за велитенькими кранами без протягування кілометрів дротів та з отримувати усі заміри в максимальною точністю.

Одже тензодатчики – простий і ефективний спосіб зняття результатів механічних впливів на ряд різних конструкцій і механізмів в різних підйомних кранах. А можливість віддаленого контролю завдяки системам бездротової передачі даних, що розвиваються, робить їх зручними для цілодобового нагляду за станом техніки. Це дозволяє вчасно реагувати на непомітні для зовнішнього огляду але дуже руйнівні зміни в металоконструкціях.

Література:

1. *Ляпин В.* Построение измерительных систем на основе беспроводных сенсорных сетей / В. Ляпин // Беспроводные технологии, – 2010. - №1. – 50-53 с.
2. *Макаров Р. А.* Тензометрия в машиностроении: Справочное пособие / Р. А. Макаров, А. Б. Ренский, Г. Х. Боркунский, М. И. Этингер. / – М.: Машиностроение, 1975. – 288с.

МІСЦЕ АЛМАЗНИХ КРУГІВ З ЕЛЕКТРИЧНОЮ ІЗОЛЯЦІЄЮ ПОСАДОЧНИХ ПОВЕРХОНЬ В СИСТЕМАТИЦІ ІНСТРУМЕНТІВ

Гуцаленко Ю. Г.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Одним з найбільш високотехнологічних методів формоутворення важкооброблюваних матеріалів, в тому числі новітніх високотвердих наноструктурних, зокрема з монокарбиду вольфраму, є створене в НТУ «ХПІ» алмазно-іскрове шліфування. Однак для його реалізації на універсальному обладнанні виконується спеціальна модернізація з призупиненням експлуатації верстата і переділом відповідального за його точність шпиндельного вузла.

Останні кілька років в НТУ «ХПІ» практично розробляється технічна ідея вибіркового діелектричного захисту шліфувальних кругів для спрощеної організації комбінованих електричними ефектами процесів обробки ними, в тому разі алмазно-іскрового шліфування, на універсальних верстатах. Фактично вперше в світовій практиці створюються конструктивно-технологічні основи для освоєння інструментальною промисловістю гами типорозмірно різних алмазних шліфувальних кругів розширеної функціональності спеціально для використання електрофізикохімічних технологій абразивної обробки саме на універсальних верстатах шліфувальної групи [1].

До теперішнього часу і сьогоденних розробок НТУ «ХПІ» можливість реалізації електрофізикохімічних технологій формоутворення в технічних системах шліфування за цим підходом в світовій систематиці техніки і технологій не розглядалася. Зокрема, вченими Інституту надтвердих матеріалів НАН України (М. В. Новіков та ін., 2014 [2]) шліфувальні круги для комбінованих методів обробки в національній систематизації та рекомендаційній практиці інструментів з надтвердих матеріалів виділяються в окремий розгляд, однак індиферентні наявності струмозахисту шпиндельного вузла шліфувального верстата від корпусу конструкції інструменту в цих розглядах, як і зарубіжних, були відсутні і є такими до теперішнього часу.

Це означає, що виконуваною в НТУ «ХПІ» розробкою за прикладним дослідженням [1] по суті створено достатні передумови для визначеного вище розширення існуючої на теперішній час класифікації алмазно-абразивних інструментів появою в лінійці шліфувальних кругів для комбінованих методів обробки шліфувальних кругів з електричною ізоляцією посадкових поверхонь.

Література:

1. Розробка конструкційно-технологічних основ і технічних рішень алмазних інструментів підвищеної функціональності в реалізації електрофізикохімічних методів шліфування : Звіт про НДР (проміжн.) / Кер. А. І. Грабченко. – № держ. реєстрації 0117U004883; інв. № 0218U001286. – НТУ "ХПІ". – Х., 2017. – 256 с.

2. Инструменты из сверхтвёрдых материалов / Под. ред. Н. В. Новикова и С. А. Клименко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2014. – 608 с.

ДІАГНОСТУВАННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ ПРИВОДІВ ЗА СТАНОМ РОБОЧОЇ РІДИНИ

Дмитрієнко О.В., Клітної В.В., Свинаренко М.С.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Одним з перспективних напрямків у діагностуванні гідравлічних приводів є оцінка їх технічного стану за станом робочої рідини (РР). Крім контролю температури РР як інтегрального діагностичного параметра гідравлічної системи, одержують розвиток методи діагностування, ґрунтовані на аналізі забруднень рідини за її якісним і кількісним складом. Застосування технічного діагностування є необхідною умовою переходу на прогресивні методи технічного обслуговування та ремонту гідравлічних приводів за технічним станом.

У доповіді проаналізовано принципи побудови та конструктивні особливості приладів діагностування гідравлічних систем і гідроприводів за параметрами РР які випускаються промисловими підприємствами. Встановлені сфери їх раціонального використання.

Наведено опис конструкції та технічних характеристик агрегату Fluid Control Unit FCU фірми HYDAC International GmbH для миттєвого діагностування якості РР. Агрегат є переносним та призначений для миттєвого виміру твердих забруднень, температури та ступені насичення водою (відносної вологості), у відсотках, РР гідравлічних систем, а саме мінеральних мастил або рідин на їх основі, температура займання яких більша за 55°/131°F та кінематична в'язкість яких знаходиться у діапазоні 10 ... 350 мм²/с. Агрегат дозволяє вимірювати тиск в гідравлічній системі 45 Бар, без адаптера високого тиску, та з адаптером високого тиску – 345 Бар. Живиться FCU від бортових мереж 12/24 В постійного струму з центральним запобіжним вимикачем навантаження. Вимірювання параметрів РР відбувається у переривчастому режимі з відотною тривалістю включення 40 %. Вбудований насос та разом з шлангами, що входять до комплекту агрегату дозволяють використовувати його в управляючих, напірних контурах та з безнапірними резервуарами.

Діапазон вимірів: забруднень твердими речовинами – ISO-код / SAE-клас; температури РР – -25...100°C / -13 ... 212°F; насичення водою – 0...100 %. Точність вимірювання: CS: $\pm 1/2$ ISO-код; AS: $\leq \pm 3$ % у всьому діапазоні. Встановлюваний час вимірювання: 10...300 с.

Висока точність і швидкодія агрегату дозволяє здійснювати запис вимірюваних значень у реальному часі, а за допомогою USB-інтерфейса копіювати їх на USB- накопичувач або пересилати за допомогою Bluetooth на екран мобільного пристрою та аналізувати на ПК за допомогою програм MS-Excel або FluMoS. Агрегат простий у обслуговуванні, його застосування дозволяє підвищити надійність гідравлічних систем і зменшити витрати на їх експлуатацію.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТИРУЮЩЕЙ ПОГРЕШНОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПРИ СЕЛЕКТИВНОМ ЛАЗЕРНОМ СПЕКАНИИ

Доброскок В.Л., Погарский А.В.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Аддитивные технологии позволили существенно снизить стоимость и время производства сложных промышленных изделий. Особенностью технологии селективного лазерного спекания (SLS) является возможность изготовления функциональных изделий, поэтому вопрос повышения точности и приближения ее к достижимой является актуальной научно-технической задачей. Точность размеров изделий зависит от результирующей погрешности формообразования. Для повышения точности размеров изделий осуществляется технологическая подготовка 3D-модели к построению. Для определения параметров технологической подготовки необходимо проводить прогнозирование результирующей погрешности формообразования.

Формирование результирующей погрешности формообразования происходит на технологических этапах, переход между которыми сопровождается возникновением первичных погрешностей. Для прогнозирования этих погрешностей предлагается исследовать статистические механизмы их возникновения на базе вероятностной математической модели. Это позволит определить наиболее эффективные способы приближения к достижимой точности формообразования на SLS-установках.

Проведенные исследования показали, что использование вероятностного моделирования для прогнозирования результирующей погрешности формообразования является эффективным инструментом анализа точности построения на установках селективного лазерного спекания и поиска путей ее повышения.

В результате проведенных исследований определены наиболее значимые первичные погрешности формообразования, являющиеся составляющими результирующей: погрешность триангуляции, погрешность компенсации усадки, погрешность настройки смещения лазерного луча (ось X, Y), компенсации утолщения слоя по оси Z , дискретности поверхности изделия из порошкового материала, размера пятна лазерного луча в плоскости построения.

Модельные испытания показали, что наиболее значимой является погрешность компенсации усадки Δ_c (относительная доля в результирующей погрешности может достигать 70%).

Определено, что достижимая точность материализации зависит от высоты слоя, размеров частиц порошкового материала и пятна лазерного луча. На установке Vanguard HS Si2 достижимая точность формообразования приближается к 0.1 мм.

ЗАСТОСУВАННЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ЗВОРОТНОМУ ІНЖИНІРИНГУ

Доля В.М.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Аддитивна технологія 3D друку з'явилася у 1986 році, коли компанія 3D Systems розробила першу комерційну стереолітографічну машину – SLA – Stereolithography Apparatus. На цей час існує декілька методів формування шарів при побудові моделей, а також декілька різновидів технологій нарощування поверхонь деталей з метою досягнення їх складних за формою конструкційних параметрів. Існують технології за якими є спроможність виготовляти виріб повністю з застосуванням сучасних CAD технологій. Direct Manufacturing або «пряме виробництво» – виготовлення металевих деталей з одним з напрямків адитивної технології. В таких галузях як авіаційна промисловість, суднобудування, енергетичне машинобудування, введення адитивних технологій найбільш помітно. Зворотній інжиніринг – технологія, що інтенсивно розвивається, отримав широке застосування в промислово розвинених країнах. Метою зворотного інжинірингу є отримання математичної моделі промислової продукції на основі вимірювань реального об'єкта. Найвідомішими фактами зворотного інжинірингу є: літак ТУ-4, який є точною копією за винятком двигуна, озброєння та радіоелектроніки американського бомбардувальника В-29; контрафактні автомати Калашникова. Основними етапами зворотного інжинірингу є: сканування об'єкту, створення 3D-моделей виробів й їх верифікація, удосконалення за допомогою комп'ютерних програм цих об'єктів, виготовлення нових виробів за допомогою адитивних технологій. У промисловості існує достатня кількість складних за формою деталей, які виробляються традиційною аналоговою технологією. Виготовлення деталей адитивними технологіями є перспективним, але наразі коштовним напрямком. Є низка проблемних моментів. Науковці НТУ «ХПІ» починаючи з 2001 року, працюють над вдосконаленням процесу моделювання, технологічними аспектами, та удосконаленням адитивних технологій. 16 січня 2018 р. в НТУ «ХПІ» відбулося відкриття наукового Навчально-виробничого Центру з 3D систем. Обладнання Центру дозволяє виконувати замкнутий цикл виробництва: сканування будь-яких об'єктів за складністю форми, створення 3D-моделей цих об'єктів, виготовлення деталей з полімерних матеріалів. Є можливість експортувати математичні 3D-моделі на устаткування, що працює за технологією прямого виробництва, тобто виготовлення металевих деталей комерційних виробів у серійному виробництві, яке наразі коштовне і практично не використовується на вітчизняних підприємствах. Не зважаючи на деякі суперечності у визначенні суті реінжинірингу цей процес набуває поширення, оскільки значно скорочує термін від початку проектування до створення готового виробу, особливо у тих галузях, які потребують термінового реформування.

БАЛАНС ЕНЕРГІЇ ВИСОКОНАПІРНИХ ОБОРОТНИХ ГІДРОМАШИН У НАСОСНОМУ РЕЖИМІ РОБОТИ

Дранковський В. Е., Рєзва К. С., Нікітін В. В.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Складання балансу втрат у проточній частині являється однією з основних задач дослідження високонапірних оборотних гідромашин. Розрахунок втрат на різних режимах роботи дозволяє визначити, як змінюється енергія рідини в елементах проточної частини, як встановлюється оптимальний режим роботи та отримати рекомендації щодо покращення енергетичних показників гідромашини.

При проектуванні високонапірних оборотних гідромашин дуже важливим є визначення балансу енергії у насосному режимі роботи, який у безрозмірному вигляді записується наступним чином:

$$\bar{H}_T^H = \bar{H}^H + k_{\text{підв}}^H + k_{\text{р.к.}}^H + k_{\text{відв}}^H$$

де \bar{H}_T^H – коефіцієнт теоретичного напору; \bar{H}^H – коефіцієнт напору;

$k_{\text{підв}}^H, k_{\text{р.к.}}^H, k_{\text{відв}}^H$ – коефіцієнти втрат енергії в підводі, робочому колесі та відводі).

Баланс енергії складається для подальшого визначення ККД гідромашини:

$$\eta_{\Gamma}^H = 1 - \frac{k^H}{\bar{H}_T^H}.$$

Щоб уточнити методику розрахунку та покращити показники гідромашин, які розробляються або модернізуються, необхідно більш детально вивчати робочий процес. Тому доцільно провести експериментальні і розрахункові дослідження та побудувати характеристики (рис. 1).

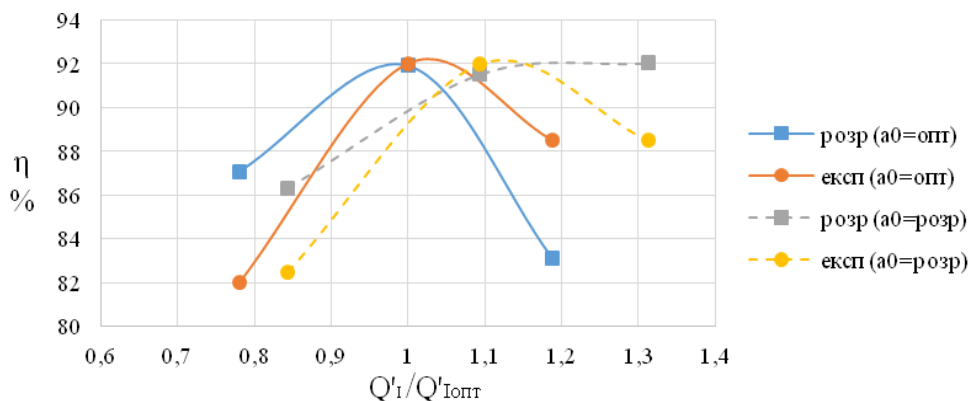


Рис. 1 – Залежність ККД від витрати

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОТОКА В ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ПОВОРОТНОЛОПАСТНОЙ ГИДРОТУРБИНЫ

Дранковский В.Э., Ковшов Д.Н.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

В связи с тем, что в Украине пока что не планируется строительство новых ГЭС, увеличение генерируемой электроэнергии можно достичь лишь путем усовершенствования имеющегося гидротурбинного оборудования, которое непрерывно эксплуатировалось более 50 лет. Это направление является наиболее перспективным и позволяет добиться результатов при значительно меньших затратах – в 2-3 раза ниже, чем при новом строительстве.

В работе представлены результаты расчета численного исследования течения в проточной части низконапорной гидротурбины ПЛ20. Расчет пространственного потока выполнено с применением $k-\varepsilon$ модели турбулентности.

В качестве прототипа была выбрана гидротурбина с универсальной характеристикой рабочего колеса ПЛ20-В-100, диаметром втулки $d_{\text{вт}} = 0,4D_1$ и числом лопастей $z_1 = 4$. Спиральная камера СУБ-0,40-210°/35°40' – бетонная, с трапецевидными сечениями; статор состоит из 12 колонн, включая зуб спирали.

Направляющий аппарат – радиальный (профиль УП-24-2), состоящий из 28 симметричных лопаток высотой $b_0 = 0,43D_1$ и диаметром расположения осей поворота лопаток $D_0 = 1,2D_1$. Отсасывающая труба с коленом типа КУ-1ПЛ имеет высоту $h_1 = 1,597D_1$ и длину $L = 4D_1$.

Граничные условия, задаваемые в пределах расчетной области:

- расход через входное сечение спиральной камеры, соответствует расходу в оптимуме универсальной характеристики гидротурбины;
- условие прилипания жидкости к стенкам;
- статическое давление ($P_{\text{изб}} = 0$ Па) на выходе из отсасывающей трубы.

Расчеты потока проведены для модели с диаметром РК $D_1 = 1$ м и напоре $H = 1$ м.

Численное исследование пространственного потока в проточной части осевой гидротурбины ПЛ20-В-100, позволило получить новые данные о кинематических характеристиках потока и потерях энергии в элементах проточного тракта.

Таким образом, полученные расчеты течения вязкой жидкости в канале осевой гидромашины подтверждают возможность использования программных комплексов, позволяющих разрабатывать новые и усовершенствовать имеющиеся проточные части гидротурбин.

**ЧИСЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОСТОРОВОЇ ТЕЧІЇ
ВИСОКОНАПІРНОЇ ОБОРОТНОЇ ГІДРОМАШИНИ ОРО500 В
ТУРБІННОМУ РЕЖИМІ РОБОТИ**

Дранковський В. Е., Хавренко М. Ю., Тиньянова І.І.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

З Європейської практики гідромашинобудування відомо, що ефективність ГАЕС росте зі збільшенням напору, але проектування високонапірних гідромашин має свої особливості, а саме невеликі значення швидкохідностей. Це, в свою чергу, призводить до того, що проточна частина такої гідромашини характеризується вузькими міжлопатевими каналами, в яких сильно проявляються сили в'язкості і просторовості потоку. Донедавна, проектування і розрахунок високонапірних гідромашин низької швидкохідності проводились на основі одновимірних і двовимірних методів з їх подальшим експериментальним вдосконаленням, що тягло за собою, значні втрати часу на такі розрахунки, проте сучасні програмні комплекси, такі як ANSYS CFX, ANSYS Fluent, Numeca FINE, Star CD, FlowVision або OpenFOAM, дозволяють проводити адекватне моделювання складних фізичних ефектів, що мають місце при протіканні рідини в проточних частинах високонапірних гідромашин, виконувати аналіз параметрів потоку в будь-яких елементах гідромашини, створювати візуалізацію отриманих результатів, тому для подальшого вдосконалення проточних частин доцільно проводити чисельні розрахунки із застосуванням названих пакетів програм.

Розрахунки проводилися для всієї проточної частини, побудовано неструктуровану розрахункову сітку, що складається з 10.4 млн. елементів. Кількість призматичних слоїв дорівнює 16. Значення y_+ знаходиться в межах 50–60 одиниць, розрахунки проводились на розрахунковому режимі для 3-х значень подач в турбінному режимі.

Аналіз результатів, отриманих при проведенні чисельних розрахунків просторової течії в'язкої рідини в проточній частині оборотної гідромашини в програмному комплексі OpenFOAM, наглядно показує особливості течії та дозволяє визначити характер розподілу швидкості, тиску, кутів потоку, що створюються елементами гідромашини, забезпечуючи їх обґрунтоване проектування. В результаті розрахунків отримані різні дані, що характеризують рух рідини по проточній частині. Також було проведено розрахунки енергетичних характеристик оборотної гідромашини методом осереднених параметрів для подальшого порівняння з результатами чисельного дослідження. Розбіжність значень ККД, для оптимального режиму роботи, отриманих в результаті чисельного дослідження та в результаті розрахунку різняться на 2 %.

ДОСЯГНЕННЯ ПОРОШКОВОЇ МЕТАЛУРГІЇ У РОЗРОБЦІ ТВЕРДИХ СПЛАВІВ ДЛЯ ОБРОБКИ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ РІЗАННЯМ

Зубкова Н.В.¹, Тітаренко О.В.²

¹Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут»,

²Національна академія Національної гвардії України,

м. Харків

Органічні прозорі матеріали знаходять все більше використання у оптичних приладах вимірювальної техніки. Завдяки невеликій вазі, відносній легкості формування у виробі складної форми, травматичній безпеці та дешевизні вони легко компенсують недоліки силікатної оптики і у комплексі з нею здатні значно розширити функціональні властивості оптичних систем.

Технологічний процес виробництва полімерних оптичних лінз включає декілька етапів фінішної обробки різанням. Головним завданням кожного з них є отримання необхідної якості поверхневого шару з мінімальними змінами його структури. Для цього інструментальний матеріал ріжучого інструменту повинен мати високу теплопровідність, твердість, зносо- та ударостійкість, що у поєднанні з вдало підібраними геометричними параметрами і має гарантувати продуктивність та стабільність властивостей полімерної оптики.

Сучасні напрямки розвитку порошкової металургії дозволяють значно розширити можливості використання твердих сплавів для різних етапів обробки різанням та скоротити витрати на беззаперечно найкращій алмазний інструмент. Серед найбільш вагомих наукових досягнень виділяють: технології отримання тонкодисперсних (1,4 – 1,8 мкм), ультрадисперсних (0,5 – 0,6 мкм) та нанокристалічних (< 0,2 мкм) порошків карбідів і варіації компактування їх разом зі зв'язкою у пластини.

Аналіз перших досліджень обробки полімерних матеріалів засвідчує підвищення стійкості пластин (вольфрамо-кобальтових) зі зменшенням розміру порошку та суттєве зниження рівня шорсткості (з 9 до 13), що дозволяє підвищувати швидкість різання (з 1500 м/хв до 3800 м/хв). Перспективним виглядає використання твердосплавних пластин із суміші порошків різного розміру з додаванням невеликої кількості дорогих нанокристалічних порошків.

Ще одним шляхом скорочення витрат на інструмент є використання твердосплавних пластин зі зносостійкими наноструктурними (< 100 нм) покриттями на основі нітридів *Nb*, *Ti* та *Al*, які мають гарне поєднання високої твердості з необхідною пластичністю. Найкращий результат такі покриття демонструють при використанні в якості основи твердих сплавів з додаванням нанопорошків.

Величезні можливості щодо варіацій форм ріжучої частини сучасних твердосплавних пластин роблять їх універсальним, а багатьох випадках і незамінним інструментом для обробки полімерних лінз.

ВАЖЛИВІСТЬ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ШЛЯХОМ БАГАТОКООРДИНАТНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

Іванов В.О., Косов І.О., Косов М.О.

*Сумський державний університет,
м. Суми*

Деталі типу шатун згідно з розробленою конструкторсько-технологічною класифікацією мають досить різноманітну форму головок та перемички, чим ускладнюється створення та впровадження єдиного технологічного процесу виготовлення таких деталей. Зважаючи на постійне вдосконалення верстатного та інструментального виробництва виникає необхідність у вдосконаленні технології виготовлення деталей. Сучасне високопродуктивне металорізальне обладнання дозволяє виконувати обробку на одному верстаті досить великої групи різнохарактерних поверхонь[1]. Це дозволяє інтенсифікувати процес обробки та звести до трьох – чотирьох механічних операцій.

Якість роботи будь-якого виробу значно залежить від технології виготовлення його складових елементів. Більшість деталей типу шатунів мають складну геометричну форму, що викликає певні труднощі при базуванні та закріпленні заготовок на операціях механічної обробки. Традиційно для установа заготовок застосовуються спеціальні або гнучкі ВП (як правило, універсально-збірні пристрої), що забезпечує задану точність обробки поверхонь, але збільшує трудомісткість і вартість виготовлення[2]. Таким чином, виконано аналіз типового технологічного процесу виготовлення шатунів та виявлено можливості для оптимізації технологічного процесу з урахуванням сучасних тенденцій у механічній обробці, а також функціонально-технологічних можливостей сучасного обладнання.

Запропоновано перспективні технологічні процеси виготовлення шатунів двох типів: рознімного та нерознімного. Типовий технологічний процес нерознімного важеля скоротився на три операції механічної обробки порівняно з запропонованим, в якому було використано обладнання для багатокоординатної обробки. Відповідно, типовий технологічний процес рознімного шатуна скоротився на дві операції порівняно з запропонованим. Інтенсифікація технологічних процесів дозволила виконувати обробку в автоматичному режимі, зменшити витрати часу, пов'язані з переналагодженням ВП для обробки шатунів, а також підвищити ступень гнучкості ВП при забезпеченні заданої точності обробки деталей.

Література:

1. *Іванов В. О.* Конструкторсько-технологічний аналіз сучасних свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатів / *В. О. Іванов, В. Є. Карпуть, І. М. Дегтярьов* // Вісник НТУ «ХП». Серія: Технології в машинобудуванні. – Харків : НТУ «ХП», 2016. – № 33 (1205). – С. 95–105.
2. *Іванов В. А.* Обоснование выбора системы приспособлений в серийном производстве / *В. Е. Карпуть, В. А. Иванов* // Високі технології в машинобудуванні. – Харків : НТУ «ХП», 2008. – Вип. 1 (16). – С. 125–134.

РАЦІОНАЛЬНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ЗУБЧАСТИХ ПРИВОДІВ З ЧЕРВ'ЯЧНО-ЦИЛІНДРИЧНИМ РЕДУКТОРОМ

Калінін П.М.¹, Остапчук Ю.О.², Жережон-Зайченко Ю.В.¹

¹ *Національна академія Національної гвардії України,*

² *Національний технічний університет*

«Харківський політехнічний інститут», м. Харків

В умовах ринкової економіки та конкуренції питання якісного проектування технічних об'єктів є актуальними. У роботі розглянуті питання раціонального проектування приводів з використанням черв'ячно-циліндричних редукторів, які завдяки властивості самогальмування та великого передаточного числа широко використовують, наприклад, у підйомно-транспортних машинах.

Задача раціонального проектування означених приводів, як правило, зводиться до раціонального проектування самого редуктора, що у свою чергу зводиться до раціонального розподілу загального передаточного числа u_o між ступенями редуктора. Розподіл u_o виконується за різними критеріями (максимальна компактність, мінімальна маса, повне використання навантажувальної здатності, можливість використання картерної системи мащення тощо) і має дуже великий розбіг суперечливих рекомендацій.

У таких умовах розробка програмного комплексу раціонального проектування зубчастих приводів є обґрунтованим.

Враховуючи, що призначення редуктора, як передатного структурного елемента привода, полягає в узгодженні параметрів двигуна з параметрами робочого органу машини, розгляд питань проектування приводного редуктора без урахування двигуна привода є суперечливим і необґрунтованим. Приймаючи до уваги, що замовника, у першу чергу, цікавить крутний момент та частота обертання вхідного вала робочого органу машини, вважаємо обов'язковим включати у проектно-математичну модель (ПММ) приводного редуктора і вибір двигуна привода. Вибір швидкохідного і одночасно найбільш економічного та малогабаритного двигуна веде, з одного боку, до зменшення крутного моменту на валу черв'яка і покращення умов роботи черв'яка, а з іншого боку – до збільшення ковзання у черв'ячному зачепленні, використання більш якісних антифрикційних матеріалів та збільшення u_o редуктора, що впливає на його якісні характеристики.

В запропонованому програмному комплексі у урахуванням головних критеріїв працездатності основних елементів зубчастого редуктора (циліндричної та черв'ячної передач, валів, підшипників, з'єднань) реалізована ПММ, що дозволяє проводити аналіз існуючих конструкцій приводів, їх ресурсних можливостей і синтезувати варіанти нових приводів.

Застосований у комплексі прямий метод оптимізації, який не накладає ніяких обмежень а ні на критерії якості, а ні не кількість параметрів оптимізації, дозволяє будувати множини допустимих раціональних проектних рішень. Автоматизований пошук компромісного раціонального рішення здійснюється шляхом зміни обмежень на критерії якості зубчастого редуктора.

О СКОРОСТНОМ ЗУБОФРЕЗЕРОВАНИИ ЗАКАЛЕННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Клочко А.А., Анциферова О.А.

***Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт» , г.Харьков***

Зубошлифование закаленных цилиндрических зубчатых колес характеризуется образованием остаточных напряжений механического и теплового характера. В случае тепловой модели при зубошлифовании образуются растягивающие остаточные напряжения. Растягивающие напряжения снижают эксплуатационные свойства закаленных цилиндрических зубчатых ко и могут привести к возникновению микротрещин.

Микротрещины появляются также в результате, прежде всего, высокой временной температуры шлифования - выше точки $A_{с3}$, а также структурных изменений, происходящих в поверхностном слое под влиянием разницы температур в микрообластях обрабатываемого материала. Когда величина остаточных напряжений превышают предел прочности обрабатываемого материала, тогда происходит процесс микрорастрескивания поверхностного слоя. Это явление свидетельствует о концентрации остаточных напряжений и высокой их интенсивности.

В теории образования термонапряжений краевые начальные задачи анализировались в пространствах гладких функций методами: интегральных преобразований, интегральных уравнений, гильбертового пространства и вариационного неравенства.

Существенным является то, что скорость температурных изменений неравномерна по сечению обрабатываемого материала зуба зубчатого колеса. Причиной возникновения термонапряжений является неравномерное охлаждение, нагрев ниже температуры A_1 и связанная с этим тепловая расширяемость.

Структурные напряжения вызываются изменением объема мартенситно - аустенитных превращений при переходе через интервал критических температур (например, в аустенит, перлит, мартенсит, бейнит). Поэтому усиление диффузии в твердых телах наблюдается только в некотором интервале средних температур, а в высоких температурах преобладают эффекты, вызванные тепловыми колебаниями. Эффект Сорета указывает, что поток материи в любой системе зависит от градиента концентрации и температуры. Рост растягивающих напряжений, вызванный тепловым воздействием ведет к понижению усталостной прочности, что требует создания совершенно новых подходов к чистовой обработке зубчатых колес.

Одним из направлений является разработка и исследование скоростного абразивного зубофрезерования закаленных цилиндрических зубчатых колес, что позволит снизить остаточные растягивающие напряжения с переходом их к напряжениям сжатия и значительно уменьшить вероятность образования микротрещин в поверхностном слое и повысить долговечность закаленных цилиндрических зубчатых колес.

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ ПРИВОДІВ ВЕРСТАТІВ

Клочко О.О., Пермінов Є.В.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків*

У переважній більшості верстатів в якості приводів використовуються передавальні механізми, що містять зубчасті передачі, ступінь досконалості яких значною мірою визначає вартість і експлуатаційні характеристики промислового обладнання. Підвищення технічного рівня робочих машин і його збереження протягом певного періоду експлуатації є вкрай актуальними завданнями сучасного машинобудування.

Недостатня надійність розрахункових оцінок зносостійкості, а, отже, і довговічності зубів зубчастих передач крім складності процесів зношування і заїдання може бути наслідком ще двох причин – зміною геометричних, кінематичних і навантажувальних параметрів контакту в процесі зносу, а також взаємного впливу різних пошкоджень зубів [1, с.106].

Метою дисертаційної роботи є розробка наукових основ прогнозування геометричних, кінематичних і динамічних параметрів зачеплення зубів важконавантажених зубчастих передач.

Для виконання даної мети: встановлено вплив некратного передавального відношення зубчастих коліс на зносостійкість, високу плавність і довговічність зачеплення; розроблена динамічна модель зачеплення зубів, яка, крім динамічних характеристик зубчастої передачі і приводу, враховує змінність передавального числа u через зміну форми профілів зубів внаслідок їх зносу ω ; встановлено вплив швидкостей переміщення зони контакту по профілям шестерні і колеса $v_{\text{тип}}$ і питомого ковзання зубів шестерні і колеса u_n на критерій зносу K .

В основу розрахунку критерія зносу було покладено припущення, що критерію зносу пропорційний сумарний знос контактуючих тіл, так як фактори, що впливають на знос, є загальними для цих тіл. Зміна форми поверхонь зубчастих передач, що входять в зачеплення, призводить до суттєвих змін режимів тертя - в результаті зносу змінюються радіуси кривизни контактних поверхонь, а, отже, і нормальні контактні напружки і коефіцієнт тертя [2, с.141]. Змінюються, відповідно, і кінематичні параметри контакту - швидкості кочення і ковзання.

Результати проведеної роботи показали широкі можливості зміни технологічних параметрів зубчастих зачеплень і застосування нових високопродуктивних технологічних способів їх обробки.

Література:

1. *Суслов А.Г.* Общие принципы моделирования оптимального управления параметрами точности, качества и производительности зубообработки закаленных крупномодульных зубчатых колес / *А.Г. Суслов, А.А. Клочко* // Ирбит: НПК «ОНИКС», 2016. – С. 105–119
2. *Шелковой А.Н.* Некоторые аспекты имитационного математического моделирования геометрических параметров процесса зубофрезерования / *А.Н. Шелковой, А.А. Клочко, Е.В. Набока* // Надежность инструмента и оптимизация технологических систем : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2015. – Вып. №36. – С. 136–149.

СУЧАСНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ПЕЛЕТ

Коваленко В.О., Губський С.О.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

В Україні і в світі відбувається відхід від не поновлюваних видобувних (газу, вугілля) до «зелених» енергоносіїв, наприклад, пелет. Пелети – це паливні гранули (деревний гранулят) довжиною 5-40 мм, діаметром 6-8 мм, що використовується в якості твердого палива (теплотворність в 1,5 рази більшу в порівнянні з дровами). Спресовані пелети зручні при транспортуванні, компактно вкладаються при зберіганні.

В Україні нормативна база на виробництво пелет відсутня. До останнього часу в Європі існувало декілька національних стандартів, але в зв'язку з сучасними тенденціями вони в 2010 році були замінені єдиним – Enplus. Стандарт Enplus спрямований на гарантування незмінно високої якості деревних пелет, що надходять кінцевому споживачу. Даний стандарт встановлює вимоги сертифікації до якості не тільки самих пелет, але й процесів, що необхідні для їх виробництва і транспортування. Система сертифікації по Enplus містить наступні важливі пункти: вимоги до виробництва і контролю якості деревних гранул; вимоги до продукту (класи якості деревних пелет (A1, A2, B) по EN ISO 17225-2); вимоги до маркування, логістики і зберігання; вимоги до доставки кінцевим споживачам.

Весь процес виробництва пелет умовно можна розділити на такі етапи: подрібнення; сушка; додаткове подрібнення; водопідготовка; пресування; охолодження; фасування та пакування.

Подрібнення деревної сировини виконується дробарками до фракції розмірами не більше 25x25x2 мм для подальшої сушки. Повітря, температурою 150-190 °С, нагнітається в сушарку (барабанного або стрічкового типу) від теплогенератора. Сировина для теплогенератора - подрібнена тріска і тирса після сушильної камери. Додаткове подрібнення до фракції розміром не більше 4 мм, здійснюється молотковим млином, або дезінтегратором.

При водопідготовці сировини її зволожують використовуючи шнекові змішувачі подаючи пар з парогенератора. Вологість сировини - не менше 8 %.

При пресуванні сировини (пресом з круглою або плоскою матрицею) відбувається ущільнення деревної сировини до 3 разів. Через сили тертя і адіабатичні процеси, що відбуваються при різкому стисканні сировини, температура в робочій зоні преса може підвищуватися до 100 °С, але не більше.

Для отримання необхідної твердості і міцності пелети слід охолодити за допомогою проточного повітря, провести очищення готових гранул від пилу, виконати відділення кондиційних гранул від крихти. Крихти відсмоктується в циклон і далі подаються разом з борошном на повторне пресування.

Фасування й упакування пелет залежить від того, яка система зберігання використовується у споживача: у вільному вигляді (насіпом); в мішках біг-бег (від 500 до 1200 кг); в дрібній розфасовці (по 10...20 кг).

Отже, виробництво деревних пелет – перспективне виробництво, яке повинно задовольняти вимогам Enplus.

MANAGEMENT CONCEPT OF THE KHARKIV TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE

Kovalenko V., Parkhomenko O., Alieksieiev V.

*National Technical University
«Kharkiv Polytechnic Institute»,
Kharkiv*

Kharkiv is the huge European metropolitan city with developing multiple transportation system. Nowadays the latest amenities are represented for inhabitants and directed first of all to create comfortable, safe and accessible opportunities for travelling by public transport.

There is no doubt, that this is really difficult challenge to accomplish, despite of availability of modern information technologies and successful practices of realized solutions in large metropolitans in Europe.

The purpose of this work is to develop a concept for managing the passenger transportation flows that yields to reduce the ecosystem load of the city essentially, to optimize the public transportation system with providing a high level of passengers' convenience and safety, unified tariff system and universal ticket, which can be used in all kinds of public transport.

E-ticket, which has been currently implemented in Kharkiv, is a tool for payment and can be used for monitoring the passengers' flow in the suggested concept.

The suggested concept is based on principles, which were founded and realized by Verkehrsverbund Rhein-Ruhr (VRR, Germany), the biggest driver, which unites all kinds of public transport and high-speed downtown-urban electrical trains S-Bahn in the single group, and also by the BKV-company in Budapest.

The ground of this concept should be the unified public utilities, which will drive all transportation infrastructures, including passengers' terminals and bus stations. Information about the real load of routes, passengers' flow, contingent, distance of trip, depending on time of the day, days of week and even on weather conditions by dint of modern registration, storage and information processing technology with latter-day GPS makes it possible to drive the passengers' flows in real-time mode even under the conditions of emergency field.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ГИДРОТУРБИНЕ С КОЛЬЦЕВЫМ ЗАТВОРОМ

Коваль Е.С.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

При проектировании гидропривода аварийного запорного органа необходимо знать максимальную величину и характер изменения гидродинамической нагрузки, действующей на кольцевой затвор, в процессе его опускания в проточную часть гидротурбины под нагрузкой. В докладе описывается методика и представлены результаты численного эксперимента исследования течения вязкой ньютоновской жидкости в проточной части гидротурбины и гидродинамической силы, действующей на затвор, при его аварийном закрытии.

Рассматривается математическая модель неравномерного движения затвора в неподвижной жидкости с заданными граничными условиями

Для верификации расчетного комплекса выполнялись поверочные расчеты течения в проточной части спиральной камеры гидротурбины с помощью открытой интегрируемой платформы *OpenFOAM*.

Численный эксперимент дает возможность наиболее глубоко и комплексно исследовать структуру потока, а также с помощью встроенных функций в используемый программный пакет определить гидродинамическое усилие, действующее на кольцевой затвор в процессе его опускания в проточную часть радиально-осевой гидротурбины.

В докладе приведена визуализация изолиний в расчетной области с затвором. Также показана роль инерционной составляющей в общем балансе сил, действующих на затвор гидротурбины, которая зависит не только от линейных размеров тела, и статического напора установки, а также от закона его движения.

Таким образом численный эксперимент позволяет без проведения стендовых испытаний исследовать рассмотренные в докладе вопросы с учетом различных положений кольцевого затвора.

НАБЛИЖЕНИЙ СИНТЕЗ МЕХАНІЗМІВ З НИЖЧИМИ КІНЕМАТИЧНИМИ ПАРАМИ

Крахмальов О.В.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Точне відтворення руху механізмів з нижчими парами призводить до необхідності створення багатоланкових механізмів. Внаслідок наявності помилок в розмірах ланок, пружності ланок, наявності виробничих щілин в кінематичних парах та ін. багатоланкові механізми не можуть точно відтворювати заданий рух. З метою зменшення викривлення в русі конструктори прагнуть до зменшення кількості ланок механізму, тобто проектування механізмів з малою кількістю ланок. При зменшенні кількості ланок таких механізмів потрібний рух відтворюється конструкторами кінематично наближено. Наближене відтворення потрібного руху використовується в практиці машинобудування, оскільки в багатьох машинах і механізмах потрібно відтворити рух тільки з деяким ступенем точності. При синтезі подібних механізмів методи наближеного синтезу повинні надавати можливість кожен раз визначати максимальну величину відхилення від заданої залежності. При цьому розміри механізму визначаються таким чином, щоб ці відхилення не перевищували припустиму для даного механізму величину.

Математично задача постає таким чином. Надана неперервна функція одного аргументу; потрібно визначити деяку іншу функцію заздалегідь вказаного класу так, щоб вона як найменше відрізнялась від заданої функції в деякому проміжку значень аргументу. Тобто потрібно апроксимувати дану функцію за допомогою іншої функції. Задана функція називається «наближуваною», а функція, яку потрібно визначити називається «та, що наближує». Функція наближення зазвичай відома, функція, та що наближує має декілька невідомих коефіцієнтів, які потрібно визначити. Необхідно так підібрати ці невідомі коефіцієнти, щоб наближувала функція як найменше відрізнялася від даної функції. Залежно від того, який зміст вкладається в умови наближення цих двох функцій та як він математично формулюється, виникають різні методи апроксимації функцій. Якщо наближувала функція співпадає з даною в визначеній кількості заздалегідь відомих точок, то це призводить до метода точкового інтерполювання. Якщо середнє квадратичне відхилення наближуваної функції від даної повинно бути мінімальним, то це призводить до метода квадратичного наближення або найменших квадратів. Для синтезу механізмів найбільш прийнятною є постановка задачі, яку запропонував П.Л. Чебишев. Він підбирає коефіцієнти наближуваної функції таким чином, щоб максимальне абсолютне значення різності між наближуваною і даною функціями за можливе мало відрізнялося від нуля на заданому відрізку. Таке наближення отримало назву найкращого.

ФОРМУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Крахмальов О. В., Ситников П. А.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Формоутворення при виконанні заготівельних робіт виконується різними способами залежно від конструктивних особливостей деталей і типу виробництва. Найпоширенішими є способи холодного деформування, яке є найбільш прогресивним методом виготовлення деталей. Висока продуктивність, низька технологічна собівартість і високий коефіцієнт використання матеріалу зі збереженням його характеристик міцності сприяють застосуванню процесів холодного деформування в промисловості. Більш 80 % деталей зварних вузлів в машинобудуванні виготовляють холодним деформуванням. Технологічні процеси ґрунтуються на зміні форми поверхні заготовок без суттєвого перерозподілу і переміщення об'єму матеріалу. При проектуванні конструктивних елементів і призначенні способів формоутворення необхідно враховувати особливості таких процесів та їх технологічні можливості.

Згинання є одним з найбільш поширених способів холодного деформування. До згинання належать всі процеси формоутворення деталей одинарної кривизни (з кривизною в одній площині), засновані на пружно-пластичному згині зовнішніми навантаженнями із листових, профільованих або трубчастих заготовок. Після зняття зовнішнього навантаження форма пластично зігнутого елемента через пружне відновлення металу змінюється залежно від величини пружних деформацій. В результаті відбувається ефект пружності, через який при згинанні можуть виникнути відхилення елементів від заданих форм та розмірів.

Ефект пружності сильніший при формуванні деталей з більшим відносним радіусом кривизни, оскільки в цьому випадку є більшими пружні деформації.

Найчастіше використовують вільне згинання, при якому формоутворення здійснюється пластичною деформацією заготовки системою сил. Майбутня форма деталі на залежить від форми інструмента. Згинання відбувається на універсальному штампі або прокатуванням на валкових і роликових верстатах. Універсальні штампи використовуються в дрібносерійному виробництві для виготовлення профілів різних перетинів із листового матеріалу за декілька переходів. В багатосерійному і масовому виробництві використовують згинання спеціальним профільованим інструментом і форма профілю залежить від форми інструмента. Згинання прокатуванням на валкових і роликових верстатах за силовим впливом на заготовку не відрізняється від згинання на універсальному штампі. Форма заготовки безперервно змінюється під дією зусилля згинання, яке створює потрібну пластичну деформацію.

РОЗРАХУНОК КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОТОКУ В ГІДРОТУРБІНІ З ВИКОРИСТАННЯМ ПАКЕТУ OPENFOAM

Крупа Є.С., Чернецький А.В.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Свою назву та ідеологію побудови пакет OpenFOAM бере від попередника FOAM (Field Operation And Manipulation), який є закритим і продовжує розвиватися паралельно з OpenFOAM.

У 2004 році починається історія пакета OpenFOAM – в цьому році пакет FOAM був випущений під ліцензією GNU GPL (ліцензія вільно поширюваного програмного забезпечення з відкритим кодом) і перейменований в OpenFOAM (Open Source Field Operation And Manipulation CFD ToolBox – вільно розповсюджуваний інструментарій обчислювальної гідродинаміки для операцій з полями).

Спочатку програма призначалася для розрахунків на міцність, але в результаті багаторічного академічного і промислового розвитку на сьогоднішній момент дозволяє вирішувати безліч різних завдань механіки суцільних середовищ, зокрема:

- Розрахунки на міцність;
- Гідродинаміка ньютонівських і неньютонівських в'язких рідин як в нестисливому, так і стисливому наближенні з урахуванням конвективного теплообміну і дією сил гравітації. Для моделювання турбулентних течій можливе використання RANS-моделей, LES- і DNS-методів. Можливо рішення дозвукових, навіколозвукових і надзвукових завдань;
- Завдання теплопровідності в твердому тілі;
- Багатофазні завдання, в тому числі з описом хімічних реакцій компонент потоку;
- Завдання, пов'язані з деформацією розрахункової сітки та ін.

В роботі виконано розрахунок просторового потоку в проточній частині горизонтального капсульного гідроагрегату ПЛ 15-ГК за допомогою програмного комплексу OpenFOAM.

Приведено значення величин втрат в елементах проточної частини, а також виконане порівняння гідравлічного ККД для оптимального режиму роботи гідротурбіни, розрахованого по програмі OpenFOAM, з гідравлічним ККД згідно універсальної характеристики ПЛ 15/984-ГК-46.

ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОТОЧНИХ ЧАСТИН ГІДРОТУРБІН ЗА ДОПОМОГОЮ МОДЕЛЮВАННЯ ТРИВИМІРНОЇ ТЕЧІЇ В'ЯЗКОЇ РІДИНИ

Крупа Е. С., Бондаренко Д. Ю.
*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Удосконалення показників проточних частин гідромашин різних типів в даний час базується на спільному застосуванні чисельного моделювання течії в елементах проточної частини і фізичного моделювання робочого процесу на експериментальних стендах. Особливо ефективно, як показує практика, застосування чисельного моделювання для модернізації раніше споруджених ГЕС і ГАЕС, так як показники їх проточних частин, створених 30–40 років тому, істотно нижче сучасного рівня.

Чисельне моделювання течії в проточній частині гідротурбіни РО310 проводилося для розрахункової області, що включає спіральну камеру, колони статора, один міжлопатевий канал направляючого апарату, один міжлопатевий канал робочого колеса та відсмоктуючу трубу для моделі з діаметром робочого колеса $D_1=1$ м.

Чисельний експеримент проводився з використанням відкритої інтегрованої платформи для чисельного моделювання задач механіки суцільних середовищ *OpenFOAM*. Моделювання турбулентних ефектів виконувалося за допомогою двопараметричної моделі турбулентності Ментера $k-\omega SST$.

Гарна збіжність чисельних та експериментальних стендових випробувань свідчить про якісно побудовану тривимірну геометрію, значну сіткову якість та адекватність заданих граничних умов.

В результаті були отримані розподіли швидкостей (відносних, абсолютних та їх складових), тисків як в кожному необхідному перетині так і в меридіональній проекції. Це дає можливість значно оптимізувати проточну частину гідротурбіни, вдосконалити лопатеві системи з метою підвищення її загального ККД.

РОЗРАХУНОК ПРОТОЧНОЇ ЧАСТИНИ КОМПЛЕКСНОГО ГІДРОТРАНСФОРМАТОРА

Кухтенков Ю.М.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Комплексні гідротрансформатори поєднують найкращі властивості гідротрансформатора та гідромуфти і широко використовуються в різних областях техніки: у автомобілебудуванні, у тепловозобудуванні; у транспортному машинобудуванні, в бурових установках для нафтогазових промислів та ін.

Вони забезпечують плавну автоматичну зміну крутного моменту і частоти обертання веденого вала, отже, і швидкості транспортних машин, а в бурових установках збільшення механічної швидкості проходки; збільшення терміну експлуатації машин завдяки гасінням динамічних навантажень від двигуна і від трансмісії; роботу машини з кращими енергетичними показниками; підвищують надійність і роблять простішим управління машинами.

Розрахунок гідротрансформатора може бути двох типів:

1) розрахунок за законами подібності – перерахунок із гарного діючого зразка на задані параметри – потужність N , кВт; оберти насосного колеса – $n_1, \text{хв}^{-1}$ при досягненні необхідного к.к.д. – η . Цей розрахунок більш швидкий за часом і гарантує швидке отримання гарних результатів;

2) розрахунок нового гідротрансформатора, якщо не має прототипу. При цьому закладається умова забезпечення необхідної форми зовнішніх характеристик і визначення основних геометричних і кінематичних параметрів гідротрансформатора.

Розглянуто етапи проектування нового гідротрансформатора, пов'язані з розрахунком їх зовнішніх характеристик, гідродинамічним розрахунком і графічними побудовами проточної частини з використанням ЕОМ. Для реалізації завдань зазначених етапів на кафедрі гідромашин НТУ«ХПІ» створено пакет програм, який складається із:

1) програми для розрахунку зовнішніх характеристик і гідродинамічного розрахунку;

2) програми розрахунку і побудови форми проточної частини гідротрансформатора – визначення кінематичних і геометричних параметрів на середньої лінії струму, підготовки даних і побудови кола циркуляції;

3) програми профілювання лопаток робочих коліс гідротрансформатора – розрахунку геометричних і кінематичних параметрів на граничних лініях струму – побудови скелетних ліній лопаток робочих коліс на поверхні тора і чаші проточної частини;

4) програми розрахунку профілю кінцевої товщини профілів.

Наведені приклади розрахунків і описані методи побудови кола циркуляції і профілювання лопаток робочих коліс гідротрансформатора.

ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ТОРЦЕВИХ УЩІЛЬНЕНЬ РОТОРА ЛАБІРИНТНО-ГВИНТОВОГО НАСОСА

¹Лебедєв А.Ю., ²Андренко П.М., ²Григор'єв О.Л.

¹ТОВ «ХЗТФ «Моторімпекс»,

**²Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,**

м. Харків

Значною мірою технічний рівень лабіринтно-гвинтових насосів визначається його ущільненнями які працюють в несприятливих умовах оточуючого середовища. Питанням проектування торцевих ущільнень присвячено достатня кількість наукових робіт. Так у відомих роботах наведені їх схеми та класифікація, описано особливості їх роботи, приведені залежності для визначення їх геометричних розмірів. Однак в відомих літературних джерелах не виявлено робіт в яких розглядаються динамічні характеристики перехідних процесів та вимушених коливань торцевих ущільнень.

У доповіді розглядається математична модель роботи торцевого ущільнення з гладкими кільцями з реліту в умовах рідинного тертя. Особливістю розробленої моделі є врахування теплового розширення рідини в зазорі між кільцями; цій ефект, що діє разом з силами тертя, створює додатковий ризик і підйомну силу, які залежать від ширини зазору та швидкості ковзання. В розробленій моделі відображені процеси виділення, переносу та отведення тепла в елементах ущільнення, а також враховується сила опору осьовому переміщенню кільця, що виникає в зазорі під дією насосного ефекту та тертя в рідині яка перетікає; інерційність цієї рідини враховується методом приведених мас. Виконана лінеаризація розробленої моделі та отримані динамічні характеристики перехідних процесів та вимушених коливань пристрою. Сформульовані умови, які накладаються на параметри торцевого ущільнення для забезпечення режиму рідинного тертя, що мінімізує зношення.

Встановлено, що для забезпечення стійкої роботи торцевого ущільнення в режимі рідинного тертя конструктору необхідно спроектувати торцеве ущільнення таким чином, щоб утворювалася додаткова гідродинамічна сила, яка намагається збільшити зазор між кільцями ущільнення при підвищенні частоти обертання вала, або сили яка притискає. Зазначимо, що традиційне представлення цієї сили є шорсткість або хвилястість поверхонь, так як максимальний розмір нерівностей на шліфованій поверхні кільця з реліту не перевищує 0,03 мкм, що на порядок менше за робочий проміжок. Крім того, реліт це на 90 % (за масою) вольфрам, і його висока твердість перешкоджає збільшенню шорсткості в процесі експлуатації, які відбуваються з ущільненнями з м'яких композитних матеріалів.

Встановлено, що виникнення та зміна додаткової підйомної сили можна пояснити нерівномірними температурними деформаціями кілець, які призводять до появи конусності зазору. Відсутність емпірики в формулі підйомної сили, дозволило з єдиних позицій пояснити статику та динаміку ущільнення. Розрахункові рівняння відображають відомі з літератури фактори, однак в замкнутій формі вони розглядаються та використовуються вперше.

АНАЛІТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗОНИ ЛОКАЛІЗАЦІЇ РАЦІОНАЛЬНИХ ПОСАДОК З НАТЯГОМ

Літовченко П.І.¹, Нечипоренко В.М.¹, Сало В.А.¹, Доля В.М.²

¹Національна академія Національної гвардії України,

²Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут»,

м. Харків

При складанні її вузлів і агрегатів сучасної військової техніки і озброєння широко застосовуються посадки з натягом по гладкій поверхні. Від якості і міцності вказаних з'єднань залежать експлуатаційні і бойові характеристики військових машин, їх надійність і виживаність в різних умовах експлуатації, в тому числі, у бойових. Створення нових ефективних методів і програмних засобів автоматизованого проектування функціональних елементів машин є актуальною задачею.

Авторами для створення методики вибору раціональної посадки з натягом проведено серія чисельно-аналітичних досліджень із застосуванням авторських програмних засобів. У результаті таких досліджень встановлено, що найважливішим етапом при визначенні остаточного проектного рішення є побудова моделі області існування сукупності раціональних посадок.

На перших етапах досліджень вказана область була представлена у вигляді n -параметричної просторової геометричної моделі, на основі якої при завданні фіксованих значень параметрів були отримані методи пошуку раціональних проектних рішень. Була запропонована геометрична інтерпретація двовимірної моделі (параметри моделі питомий тиск у з'єднанні відповідний йому натяг) області існування кінцевої множини стандартних посадок та виділення у такій множині локальної вірогідної зони для вибору остаточного проектного рішення з кінцевої множини альтернативних допустимих.

На наступному етапі автори перейшли до аналітичного представлення області існування раціональних посадок з натягом при їх автоматизованому проектуванні. Аналітичне моделювання плоскої моделі здійснювалося за допомогою використання математичного апарату теорії R -функцій.

Аналітично описані та досліджені різні форми вірогідної зони локалізації (прямокутні, еліпсоподібні та кругові), серед яких найефективнішою виявилася кругова. Це є підґрунтям для формулювання одного з критеріїв при виборі стандартної посадки з натягом при їх автоматизованому проектуванні та удосконалення методики у цілому.

Отримані результати досліджень дозволяють модернізувати програму автоматизованого розрахунку посадок з натягом, підвищити його ефективність та якість проектування.

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА НА ОБЪЕКТАХ МУНИЦИПАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ И КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА

Мараховский М.Б., Гасюк А.И., Медведев М.Е.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Потребление энергии объектами бюджетной сферы Украины (школы, больницы, детские сады и др.) и жилищно-коммунального хозяйства превышает уровень потребления аналогичных объектов зарубежных стран в несколько раз, при учете аналогичных климатических условий. Это приводит к тому, что большая часть средств расходуется на приобретение энергии и энергоносителей, а не на ремонт зданий, сооружений и применение энергоэффективных технологий и оборудования.

Одним из вариантов выхода из сложившейся ситуации, на наш взгляд, является организация службы энергетического менеджмента, охватывающая все вышеперечисленные объекты.

В своей деятельности служба энергоменеджмента осуществляет постоянный мониторинг и сравнительный анализ с нормативными значениями объемов потребления энергоресурсов, а также оперативное управление на стадиях, как генерации, так и потребления. Это приводит к оперативному контролю потребления энергоресурсов и не допущению их перерасхода на момент использования, а не при получении счетов на оплату энергоносителей в конце отчетного периода.

Особенности нашего подхода к организации энергетического менеджмента заключаются в том, что при учете электрической энергии потребители разделяются по категориям: освещение, оргтехника, бытовая техника, климатическая техника и др.

Авторский алгоритм предполагает расчет энергопотребления, как в абсолютных величинах, так и в удельных на единицу продукции (ученик, посетитель, больной).

Учет всех энергоресурсов (электроэнергия, вода, газ, топливо и др.) производится в режиме реального времени, что дает возможность оперативного контроля за потреблением ресурсов, и управления этим процессом.

При анализе потребления проводится сравнительный анализ с аналогичными зданиями, находящимися в других городах.

Предлагаемая нами система соответствует ДСТУ ISO 5000.

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ СПЕЦИАЛЬНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ЗА СЧЁТ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ РАЗРАБОТОК, ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ И CAD-СИСТЕМ

Мироненко А.Л., Мироненко С.А., Третяк Т.Е.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Повышение производительности и расширение номенклатуры выпускаемой продукции требует дальнейшего роста автоматизации подготовительной стадии изготовления продукции. Решением данной проблемы могут служить разработанные с применением ООП библиотеки на базе фундаментальных методов дифференциальной геометрии.

Особенностью проектирования зубчатых передач является совместное проектирование и дальнейшее изготовление зубчатой пары и формообразующего инструмента. Предлагается создать библиотеку на базе теории аффинного преобразования пространства, разработанной проф. НТУ «ХПИ» Б.А. Перепелицей. Достоинством данной теории можно считать возможность получать однородные уравнения поверхностей, их перемещений и решать прямую и обратную задачи формообразования.

Предлагается создавать модели то технологическому принципу, т.е. формировать поверхности только удалением объёмов геометрической модели, все 2D эскизы представляют собой профили инструментов в нормальном сечении, операции по созданию объёмов должны обеспечиваться кинематикой формообразующего оборудования. Исходными данными при проектировании являются механические, массогабаритные и физические параметры, определяющие работоспособность передачи. Решение поставленной задачи может быть достигнуто благодаря последовательному решению взаимосвязанных этапов.

На первом этапе был проведен анализ конструктивных элементов, затем создана структура из классов, объектов и наследников, включающая наборы параметров, методов для их контроля, обработки и передачи в CADсистему. В результате получены конические и сферические основания с массивом эквидистантных сплайнов на боковых поверхностях. Результаты работы визуализированы средствами системы PTC Creo Parametric с применением алгоритмического языка C++.

Выводы: Предварительные результаты подтвердили возможность решать задачи предлагаемым методом. Были получены параметрические модели цилиндрических прямозубых колес, на базе которых выполнены частные решения и проведены аналитические исследования интерференции и зазоров поверхностей.

ВПЛИВ ГРАНИЧНИХ УМОВ НА ВЛАСНІ ЧАСТОТИ РАДІАЛЬНО-ОСЬОВОЇ ГІДРОТУРБІНИ

Миронов К.А., Олексенко Ю.Ю.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Щоб задовольнити нові вимоги ринку для більш динамічної та гнучкої генерації енергії, радіально-осьові гідротурбіни вимагають збільшення їхньої концентрації потужності, а також їх регулятивного потенціалу. Цей факт призводить до збільшення напору і швидкості потоку рідини та розширення діапазону експлуатації агрегатів. Отже, сили збудження вищі і можуть виникнути серйозні проблеми з вібрацією.

Оцінка власних частот радіально-осьової турбіни має першорядне значення на етапі проектування, щоб уникнути проблем вібрації та резонансу, особливо під час перехідних процесів. Робочі колеса радіально-осьових гідротурбін занурені у воду і містять невеликі осьові та радіальні проміжки, які значно зменшують їх власні частоти в порівнянні з тією ж структурою в повітрі. Для оцінки впливу цих проміжків використовується акустико-структурне моделювання FSI.

Власні частоти робочих коліс гідротурбін зазвичай оцінюються за допомогою чисельного моделювання. Методи кінцевих елементів (FEM), разом із акустичним формулюванням для розгляду навколишньої води, здатні з точністю передбачати власні частоти занурених структур, навіть якщо вони знаходяться поблизу твердої поверхні. Однак такий тип моделювання не розглядає комплекс умов, такі як затухання; таким чином, додаткові затухання за рахунок навколишньої води не враховується. Цей факт може призвести до переоцінки амплітуд вібрації та нехтування гідродинамічними дисипативними ефектами.

Крім того, в цих моделях неможливо включити всі компоненти машини, такі як підшипники або лабіринтові ущільнення, через їх складність. Тому зазвичай робиться спрощення, які вносять деяку невизначеність у результати. Вплив води та сусідніх жорстких поверхонь не лише має відношення до власних частот робочого колеса, але також може впливати на власні частоти інших компонентів гідравлічної турбіни, такі як вал або генератор.

У цій роботі розглянуто вплив сусідніх жорстких поверхонь за допомогою чисельного моделювання для високонапірної радіально-осьової гідротурбіни. Симуляційна модель розглядає основні компоненти машини (генератор, вал, робоче колесо і навколишня вода), щоб побачити вплив зміни розмірів проміжків між робочим колесом і сусідніми стінками на власні частоти всієї машини.

Виявлено, що радіальний проміжок має великий вплив на власні частоти робочого колеса. Структурно-акустичні моделювання FSI доцільні використовувати для вивчення додаткових масових ефектів при різних граничних умовах.

НАГРЕВАТЕЛИ ДЛЯ ГИДРОСМАЗОЧНЫХ СИСТЕМ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ

Музыкин Ю.Д.¹, Татьков В.В.¹, Музыкин П.А.²

**¹ *Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,***

**² *ЧАО «Южспецатомэнергомонтаж»,
г. Харьков***

Для предотвращения коррозии холоднокатаного листа одной из финишных операций технологического процесса является консервация его поверхности посредством промасливания. Эффективность защитной антикоррозионной пленки зависит от качества ее нанесения и определяется массой масла, поданного на единицу площади проката.

Наиболее универсальным методом нанесения консервационных смазок является распыление с помощью форсунок при условии строгого поддержания температуры и скорости истечения масла. Отклонение этих параметров от рабочих значений не допускается, так как понижение их приводит к неравномерности смазочного слоя, а повышение - к снижению толщины слоя смазки и, следовательно, к ухудшению степени промасливания. Стабилизация требуемой температуры может быть достигнута либо нагревом масла в гидробаке, либо непосредственным нагревом потока масла перед входом в форсунку. Выбор рационального способа нагрева определяется эксплуатационными условиями работы гидросистемы.

Для каждого из рассмотренных случаев термостатирования предложены нагревательные элементы на базе позисторной керамики, отличительной особенностью которой является линейная зависимость между температурой керамического элемента и его электрическим сопротивлением. Эта связь позволяет создать саморегулируемые нагревательные устройства, поддерживающие постоянную температуру за счет автоматического изменения силы тока. Применительно к гидросмазочным системам прокатного оборудования на базе универсального позисторного керамического элемента были разработаны, изготовлены и испытаны два вида нагревателей, конструктивное решение которых адаптировано к конкретным условиям эксплуатации.

Апробация предлагаемых позисторных нагревателей проведена на металлургическом комбинате ПАО "Запорожсталь" в цехе холодной прокатки ЦХП-1. Малогабаритный нагреватель прямоточного типа МНПТ был установлен на дрессировочном стане в комплекте с указателем потока УПДТ, а маслонагревательные перегородки ПБМНПТ были установлены в гидробаке для подачи консервационного масла на агрегат поперечной резки АПР-3. Результаты испытаний показали высокую эффективность и надежность предлагаемых нагревательных устройств и возможность их использования в металлургической и горнорудной промышленности.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА РАБОТЫ СИЛОВЫХ ПРИВОДОВ ПРОКАТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Музыкин Ю.Д.¹, Татьков В.В.¹, Музыкин П.А.²

¹ *Национальный технический университет*

«Харьковский политехнический институт»,

² *ЧАО «Южспецатомэнергомонтаж»,*

г. Харьков

Анализ аварийных отказов в прокатном оборудовании показывает, что в подавляющем большинстве случаев их причиной являются нарушения в работе подвижных сопряжений силовых приводов по всей длине от электродвигателя до рабочих валков клетей. Поэтому мониторинг эксплуатационных параметров оборудования и своевременное проведение технического обслуживания либо ремонт проблемных узлов являются наиболее эффективным способом предупреждения аварийных отказов.

В качестве интегрального критерия, определяющего технический уровень всей механической системы силового привода, предлагается использовать суммарный зазор во всех кинематических парах, участвующих в передаче полезной нагрузки. Так как изменение суммарного зазора зависит от многих эксплуатационных параметров, большинство из которых не детерминированы и поэтому носят вероятностно-статистический характер, оценку их влияния на искомый параметр можно выполнять только используя методы математической статистики. Применительно к прокатному оборудованию эта задача была решена для стана НТЛС 1680. По результатам сравнительного анализа полученных эксплуатационных данных и теоретического нормального закона распределения показано, что они хорошо согласуются и могут быть идентифицированы как аналогичные.

Результаты статистических исследований позволили сделать вывод, что при оценке динамики изменения суммарного зазора в кинематических парах можно использовать принцип суперпозиции, а, следовательно, реализовывать условие линейного суммирования повреждений. В этом случае изменение суммарного зазора по всем кинематическим парам, который принимается в качестве интегрального параметра, характеризующего техническое состояние силового привода, может быть аппроксимировано прямой линией. Тогда величина остаточного ресурса безотказной работы привода, который регламентирует плановую остановку прокатного стана для проведения технического обслуживания либо ремонтных работ, будет определяться интервалом времени, необходимым для достижения заданной функцией своего предельного состояния.

Предлагаемая методика определения остаточного ресурса работы может быть успешно использована и для других силовых приводов, которые находят широкое применение в оборудовании горнометаллургической промышленности.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДИКИ УПРАВЛІННЯ ВИТРАТАМИ НА ЯКІСТЬ НА МАШИНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ УКРАЇНИ

Новіков І.А., Крижний Г.К.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

В роботі розглянуте питання ефективності застосування управління витратами на якість продукції згідно стандартів ISO 9000.

Побудова та сертифікація системи управління якістю згідно вимог стандартів ISO серії 9000 дозволяє зменшити витрати на якість приблизно на 25-30 % [1]. Інвестування у вдосконалення системи управління якістю є ефективнішим, ніж постійне виправлення дефектів та браку, що є прямими втратами якості.

У процесі дослідження аналізувалися витрати на якість АТ «ХАРП», які були поділені на дві групи:

- 1) затрати на якість до впровадження системи менеджменту якості;
- 2) затрати на якість після впровадження системи менеджменту якості на відповідність ISO 9000) [2].

Було проведено порівняльну характеристику між традиційним управлінням витрат на якість та управлінням відповідно до ISO 9000, а саме в таких видах витрат: 1) «на попередження дефектів», питома вага склала 1% від загальних витрат (традиційне управління), та 5.3% (відповідно ISO 9000); 2) «на виявлення дефектів», різниця не значна 34% і 35,3% відповідно; 3) «на усунення дефектів до передачі продукції споживачам», різниця між методами склала 4,4%; 4) «витрати на усунення дефектів після придбання продукції споживачами» – тут є значна різниця в 29, 4%, це зв'язано з тим, що при новому методі управління проблеми дефектів на стадії експлуатації продукції вирішуються шляхом усунення дефектів та браку на самому підприємстві.

Аналіз результатів дослідження відділу якості АТ «ХАРП» підтверджує той факт, що використання стандартів ISO 9000 дозволяє знизити сумарні витрати на якість. Спостерігається не лише зниження сумарних витрат на якість на 28.2 %, але й їх перерозподіл в сторону профілактичних витрат.

Економічний ефект від управління витратами на якість найлегше можна визначити у вигляді їх економії у грошовому вимірі. Економія досягається у разі перевищення темпів зменшення втрат від браку над темпами збільшення витрат на запобіжні заходи.

Література:

1. Бугрім О.Ю. Оцінювання ефективності управління якістю продукції на промислових підприємствах // Держава та регіони. Серія «Економіка та підприємництво». - 2010. - № 6. - с.197-198.
2. Семенов Г.А., Квасова А.О. Управління якістю продукції на підприємстві // Держава та регіони. Серія «Економіка та підприємництво». – 2012. - № 3. - с.213.

ЗАПРОВАДЖЕННЯ НА МАШИНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ СИСТЕМИ PDM ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО КЕРУВАННЯ ЯКІСТЮ

Норик Е.В.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Повний цикл вітчизняного виробництва потребує впровадження комплексного керування якістю, метою якого є запобігання появі браку, передумовою чого слугує моніторинг втрат якості та усунення причин дефектів шляхом зосередження на контролі входних параметрів, які виявляються критично важливими. Застосування стандарту IDEF0 у комплексі з японськими інструментами забезпечення якості дає можливість переглянути усі функції (процеси) на протязі двох циклів життя продукту та сприяє створенню деталізованої документації для усіх операцій та сприяє їх впорядкуванню завдяки програмним комплексам, що важливо як для новоутворених СМЯ, так і для удосконалення вже існуючих [1].

Для підтримки конкурентоспроможності виробів на машинобудівних підприємствах набув актуальності процес впровадження нових інформаційних технологій керування якістю. Технологія опису бізнес-процесів забезпечує прозорість усіх операцій та дозволяє аналізувати можливі ризики на всіх етапах виконання робіт, вчасно впроваджувати попереджувальні заходи. У відповідності з цією концепцією, керування проектними та інженерними даними здійснюється системою PDM (керування даними про виріб, product data management) [2], її впровадження дозволяє створити єдине інтегроване середовище, яке забезпечує:

- об'єднання прикладних програмних засобів для проектування і виготовлення продукції та керування виробництвом, що дозволяє максимально використовувати нові розробки відпрацьованих технічних рішень, які зберігаються в базі даних (БД);

- збір даних для системи керування якістю відповідно до стандартів серії ISO 9000;

- надійне збереження та швидкий пошук необхідних даних в електронних архівах, виключення помилок за рахунок усунення декількох джерел зберігання однієї і тієї ж інформації.

Завдяки впровадженню системи PDM стає можливим залучення кожного робітника до єдиного джерела інформації, представленого у вигляді розподіленої бази даних з клієнт-серверною архітектурою, що дозволяє усунити ризики отримання невідповідних даних виконавцями операцій на будь-якому етапі життєвого циклу функціонування підприємства загалом та виробу зокрема.

Література:

1. Крижний Г.К., Козакова Н. В., Норик Е. В. Організація менеджменту якості на базі стандарту IDEF0 на виробничому підприємстві, Сучасні технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. – Вип. 11. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – с. 294-307. 2. Щеглов Д.К. Организация единого информационного пространства современного промышленного предприятия // Материалы XVII НТК молодых ученых и специалистов. Королев, РКК «Энергия», 2005 г.

КЕРУВАННЯ РУХОМ ВІЗКА КАБЕЛЬНОГО КРАНА

Окунь А.О.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Дана робота присвячена дослідженню переміщення візка кабельного крана під дією власної ваги при застосуванні автоматичної системи керування, яка оперує масивом параметрів кривої провисання каната, в результаті чого вантаж на гнучкому підвісі переміщується на задану відстань.

Запропонована конструкція [1] дозволяє за рахунок усунення механізму пересування візка (не використовується тяговий канат), усунення підтримок та механізму підймання вантажу (не використовується підймальний канат) зменшити енерго- та ресурсовитрати, а також знизити собівартість кабельного крана.

Варто зазначити, що співвідношення величини провисання несучого каната у довільній точці прогону до максимальної її величини при навантаженні каната рівномірно розподіленим і зосередженим навантаженням, а також співвідношення для випадку навантаження тільки рівномірно розподіленим навантаженням

$$\frac{f_x}{f_{\max}} = \frac{4x(L-x)}{L^2}.$$

Співвідношення для обох випадків навантаження однакові. Тобто крива провисання, яку описує вантаж при русі уздовж каната, який знаходиться під дією рівномірно розподіленого навантаження, має таку ж форму, що і крива провисання каната під дією тільки рівномірно розподіленого навантаження. Ця крива представляє собою параболу з максимальним провисанням посередині прогону, яка визначається з рівняння

$$f_x = \frac{gx(L-x)}{2H \cos \beta} + Q \frac{x(L-x)}{HL}.$$

Для визначення потрібної кривої провисання каната для обраної точки розвантаження/завантаження на робочому майданчику необхідно визначити Δh – різницю між кінцями каната на опорах (рис. 1).

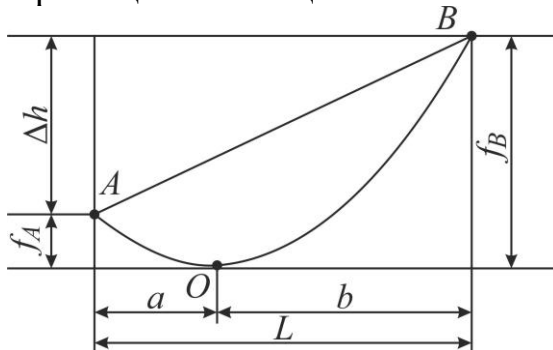


Рис. 1 – Крива провисання каната

$$\Delta h = f_B - f_A = \frac{gL}{2H}(2b - L).$$

Таким чином, отримаємо різницю відміток точок закріплення каната Δh , від якого залежить положення візка крана.

Література:

1. Кабельний кран нової конструкції / О.В. Григоров, А.О. Окунь // Вісник НТУ "ХПІ". Серія : Нові рішення в сучасних технологіях. – Х. : НТУ "ХПІ". – 2014. – № 7. – С. 3–6 с.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛАСТИЧНИХ ГОФРОВАНИХ МЕМБРАН

Онищенко А.М., Седач В.В.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Експериментальний метод визначення характеристик мембран є єдиним способом перевірки теоретичних розрахунків і основним джерелом даних при конструюванні мембранних пристроїв.

Установка для визначення ефективної площі мембрани складається з корпусу з затиснутою по зовнішньому діаметру мембраною, основи яка дозволяє регулювати положення мембрани, платформи з розташованим на ній мікроскопом, жорсткого центру і підп'ятника, що навантажується симетричною рамкою на котру установлюється вантаж що має другий клас точності .

Для утримання мембрани в робочому положенні через редуційний клапан в непротічну камеру подається стиснуте повітря. Перепад тиску на мембрані контролюється зразковим манометром класу 0.6.

Експеримент по визначенню ефективної площі мембрани проводився у такому порядку. Спочатку визначається нейтральне положення мембрани, для чого затиснуто в корпус мембрану разом з жорстким центром установлюють на підставку і за допомогою платформи надають їй горизонтальне положення. Після цього за допомогою покажчика і мікроскопа фіксують положення жорсткого центру, потім установку повертають на кут 180^0 у вертикальній площині й визначають зміщення центру в новому положенні. За нейтральне положення приймають середньоарифметичне значення зміщення.

Після корегування нейтрального положення установка переводиться у вихідне положення і на жорсткий центр мембрани установлюють рамку, вага якої разом з платформою відома.

Змінюючи тиск у мембранній камері, жорсткий центр переміщують на $\pm 3,5$ мм з кроком 0,5 мм, переміщення відслідковується по покажчику за допомогою мікроскопу.

При досягненні положення – 3,5мм, з урахуванням повтору вимірювань мембрана повертається у положення +3,5мм шляхом збільшення вантажу на платформі.

Після цього процес повторюється, але переміщення жорсткого центру здійснюється уже зміною тиску при постійному навантаженні, потім при постійному тиску до тих пір поки тиск не стане рівним 5 кг/см^2 . При цьому число повторів сягає п'яти.

Методика експерименту дозволила охопити весь діапазон роботи мембрани й отримати результати зміни ефективної площі мембрани при осьовому зміщенні жорсткого центру, при постійному навантаженні та постійному тиску.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ГІДРОПРИВОДУ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Панамарьова О.Б.², Клімов В.Г.¹, Василюк Г.С.²

¹Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут»,

***²Харківський комп'ютерно-технологічний коледж Національного
технічного університету «Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків***

Надійність є одним із важливих показників якості і конкурентоспроможності машин збудованих на базі систем гідравлічного привода. Їх відмови призводять до непланових ремонтів, а також до простою основного обладнання. У свою чергу, це зменшує величину прибутку за рахунок зниження обсягів виробництва, збільшує собівартість машини чи виробу в результаті зростання витрат на одиницю продукції. Це великою мірою стосується і систем гідравлічних приводів, вихід яких з ладу призводить до суттєвих втрат у виробництві. Визначити надійність машини можна якщо відомі її призначення та конструкція, задані режими і умови її експлуатації при застосуванні за призначенням, визначені експлуатаційні показники для кожного з режимів експлуатації та допустимі межі їх зміни [1].

Забезпечення потрібної надійності машини є комплексною проблемою яка пов'язана з її життєвим циклом, а саме проектування, виготовлення та експлуатації, починаючи з моменту формування і обґрунтування ідеї створення нового зразка та закінчуючи прийняттям рішення про його списання. Основні технічні рішення по надійності, прийняті на стадії проектування, безпосередньо впливають на експлуатаційні і економічні показники привода чи машини, які, зазвичай, суперечать один одному. Надійність привода закладається на етапі проектування, забезпечується на етапі в процесі виробництва та підтримується на заданому рівні під час експлуатації. Всі ці питання комплексно розглядаються та вирішуються в межах CALS-технологій – комплексної комп'ютеризації сфер промислового виробництва.

В Україні питання впровадження CALS-технологій при управлінні життєвим циклом гідроприводу мало впроваджені, тільки починають вивчатися [2], але враховуючи світовий опит, це є одним з перспективних напрямків розвитку науково-технічних розробок промислового гідроприводу, підвищення його надійності та економічної ефективності, відповідно.

Література:

1. Надійність та експлуатація гідромашин та гідроприводів : навч. посіб. / З. Л. Фінкельштейн, П. М. Андренко, О. В. Дмитрієнко; Під. ред. П.М. Андренко. – Алчевськ: ДонДТУ, 2013. – 142 с.
2. Скворчевський О.Є. Загальне середовище даних (SharedDataEnvironment), як інтегруючий компонент елементів CALS-технологій // VII всеукраїнська науково-практична конференція «Актуальні питання організації та управління діяльністю підприємств в сучасних умовах господарювання» 29 листопада 2017 року / Національна академія Національної гвардії України. – Харків, 2017. – С. 159-160.

ЗАСТОСУВАННЯ CALS-ТЕХНОЛОГІЙ В ПРОЕКТНО-ОРІЄНТОВАНОМУ НАВЧАННІ

Панамарьова О.Б.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Глобалізація ринку праці та прагнення України інтегруватися до Євроатлантичних структур ставлять нові виклики перед системою вищої та середньої спеціальної освіти. Одним із них є необхідність переходу від традиційної парадигми «знання-вміння-навички» до проектно-орієнтованого підходу, тобто «навчання дією». Поняття «навчання дією» (від англ. action learning) вперше було запропоновано британським дослідником Р. Ревансом вкінці 60-х років минулого століття. Основна ідея технології «навчання дією» полягає в отриманні знань із свого досвіду [1].

Важливим етапом проектно-орієнтованого підходу є створення та управління командою проекту. Команда проекту сформована із студентів навчального закладу інтегрована в більш крупний проект, наприклад науково-дослідний напрямок, що розвивається в ВУЗі. Ефективність такої організації та інтеграції команди забезпечується не тільки педагогічними засобами, а і шляхом застосування сучасних інформаційних технологій. Це дозволяє значно пришвидшити роботу команди, дозволити її членам працювати дистанційно та створювати транснаціональні команди, що особливо важливо в умовах академічної мобільності викладачів та студентів. В країнах ЄС, США, Канаді для логістичної підтримки життєвого циклу наукомісткої продукції використовуються технології безперервної інформаційної підтримки поставок та життєвого циклу складної технічної продукції. Англійська аббревіатура CALS-технологій (Continuous Acquisition and Lifecycle Support) [2]. В Україні питання впровадження CALS-технологій при управлінні життєвим циклом наукомісткої продукції тільки починають вивчатися [3-6 та ін.]. З огляду на вищевикладене доцільно інтегрувати процеси впровадження проектно-орієнтованого навчання в вищих та середніх спеціальних навчальних закладах та впровадження CALS-технологій в практику науково-технічних розробок. Така інтеграція може розглядатися як один із найбільш перспективних напрямків модернізації вітчизняної науки та освіти.

Література:

1. Гансуар, К. Др. Опыт проектно-ориентированного обучения и организации командной работы студентов вуза / К. Др. Гансуар, Е. А. Неретина, Ю. В. Корошко // Интеграция образования. – 2015. – Т. 19, № 2. – С. 22–30. 2. NATO CALS handbook. – 2000. – 307 p. 3. Сковорчевський О.Є. Аналіз зарубіжного досвіду побудови CALS-технологій для управління життєвим циклом озброєння та військової техніки / О.Є. Сковорчевський // Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 48.- С. 75-80. 4. Сковорчевський О.Є., Кодочигов Д.О. Робастна інтегрована логістична підтримка життєвого циклу озброєння та військової техніки // VI всеукраїнська науково-практична конференція «Актуальні питання організації та управління діяльністю підприємств в сучасних умовах господарювання» 17 листопада 2016 року / Національна академія Національної гвардії України. – Харків, 2016. – С. 260-261. 5. Сковорчевський О.Є. Управління життєвим циклом озброєння та військової техніки // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Тези доповідей XXV міжнародної науково-практичної конференції, / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків, НТУ «ХПІ», 2017. – С. 220.

О КОМПОНЕТИКЕ МОБИЛЬНЫХ СТАНКОВ ДЛЯ РЕМОНТА НЕДЕМОНТИРУЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ ТУРБОАГРЕГАТОВ

Пермяков А.А.¹, Ищенко М.Г.², Шепелев Д.К.¹

**¹Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,**

²ПАО «Турбоатом», г. Харьков

Актуальной производственной задачей завода «Турбоатом» является ремонт деталей и узлов эксплуатируемых в Украине и за рубежом турбоагрегатов. Нецелесообразность, а иногда и техническая невозможность демонтажа крупногабаритных деталей делает невозможным их текущий ремонт в условиях завода. В этом случае эффективным и единственно возможным является использование мобильного портативного технологического оборудования для механической обработки восстановленных и присоединительных поверхностей недемонтируемых крупногабаритных деталей и узлов турбоагрегатов.

Понятие о блочной структуре станка и способах сопряжения блоков позволяет обозначать любую компоновку с помощью структурных формул (по Ю.Д.Врагову). Для описания пространственной компоновки и возможности использования математического аппарата в структурных формулах используют систему обозначений осей координат, отвечающую рекомендациям ИСО. Структурная формула компоновки – это определенная последовательность символов, обозначающих блоки компоновки, раскрывающая координатную принадлежность и способ сопряжения блоков. Очевидно данный подход возможно применить для структурного анализа и синтеза компоновок металлорежущего оборудования для ремонта недемонтируемых крупногабаритных деталей и узлов турбоагрегатов. Особенностью таких станков является мобильность или возможность их использования по месту службы ремонтируемой машины, а также то, что роль стационарного блока (станины) станка может выполнить сама ремонтируемая деталь.

Актуальной остается задача систематизации компоновок мобильного портативного технологического оборудования, создаваемого по агрегатно-модульному принципу, с целью типизации компоновочных схем и унификации конструкций станков для механической обработки недемонтируемых крупногабаритных деталей и узлов турбоагрегатов. С этой целью рассмотрены и проанализированы примеры реализованных на заводе «Турбоатом» компоновок мобильного портативного технологического оборудования для механической обработки восстановленных и присоединительных поверхностей недемонтируемых крупногабаритных деталей и узлов турбоагрегатов: расточного станка для совместной обработки осевых отверстий во фланцевом соединении вала генератора и вала турбины гидроагрегата Среднеднепровской ГЭС; сверлильного станка для обработки отверстий в цилиндре и корпусе рабочего колеса ЛАРДЖИ ГЭС (Индия); станка для фрезерования паза под уплотнительный шнур в нижнем кольце направляющего аппарата гидротурбины Кременчугской ГЭС.

КІНЦЕВІ АВТОМАТИ В СХЕМАХ ЛОГІКИ УПРАВЛІННЯ

Пермяков О.А., Приходько О.Ю., Сліпченко С.Є.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків*

У дійсний період часу кінцеві автомати застосовуються ведучими фірмами світу задля програмування логічних контролерів, що програмуються, а також для опису поведінки окремих об'єктів у об'єктно-орієнтованому програмуванні. Вони використовуються при програмуванні протоколів, ігор та схем логіки, що програмується, а також у такій традиційній для їх застосування галузі, як створення компіляторів.

Доцільним є використання STATE-технології при здійсненні управління складними технологічними системами та виробничими автоматичними лініями.

У якості основного у STATE-технології використовується поняття "внутрішній стан". Стани розглядаються як деякі абстракції, що вводять на початку процесу алгоритмізації, наприклад шляхом однозначного зіставлення кожного з них з одним з фізичних станів об'єкту, що управляється, тому що звичайно "функціонування виробничих систем виявляє себе через зміну їх станів". При цьому кожний стан в алгоритмі підтримує об'єкт у відповідному стані, а перехід у новий стан у алгоритмі приводить до переходу об'єкта у новий відповідний стан, що і забезпечує процес логічного управління об'єктом. Наприклад, об'єкт "технологічна система" може знаходитись у одному з чотирьох робочих станах ("наладочний режим", "перехідний режим", "робочий режим", "відключений стан"), кожне з яких може підтримуватись відповідним станом в алгоритмі управління.

Для технологічної системи "з пам'яттю" алгоритм управління може мати і меншу кількість станів. При необхідності в алгоритм управління можуть бути введені також і інші стани, що пов'язані, наприклад, з несправностями об'єкту та неправильними діями оператора, що враховують різного роду блокування. Зв'язок станів з внутрішніми (управляючими) змінними з'являється далі на етапі кодування станів, що відсутній у традиційному програмуванні. При цьому число вводимих управляючих змінних залежить від прийнятого вигляду кодування. Такий підхід, відомий з теорії автоматів, принципово відрізняється від підходу, що звичайно застосовується у програмуванні, при якому у ході процесу програмування при необхідності вводяться внутрішні (звичайно двійкові) змінні, а потім кожний різний набір їх значень об'являється станом програми. Однак, так як поняття "стан" у програмуванні прикладних задач зазвичай не використовується, то відповідь на питання про кількість станів у програмі, що містить, наприклад, n двійкових внутрішніх змінних, залишається у більшості випадків відкритим. Треба зауважити, що у цьому випадку кількість станів може знаходитись у діапазоні від n до $2n$. Так як любий стан може бути представлений двома значеннями (логічних нуля чи одиниці). При розв'язанні задачі повинні бути враховані особливості деталей, що оброблюються, технологічні можливості верстатів та передбачені алгоритми мінімізації виробничих ресурсів.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ТУРБУЛЕНТНОГО ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ В КАНАЛАХ ПРОТОЧНЫХ ЧАСТЕЙ ГИДРОТУРБИН

Потетенко О. В., Яковлева Л. К., Самба Битори Т.Д.Б.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Рассматривая наиболее простой случай характерный для турбулентного движения вязкой несжимаемой жидкости при постоянной температуре уравнения динамики турбулентного потока вытекают из фундаментальных законов сохранения массы, импульса и момента импульса. Турбулентное движение потока в этом случае характеризуется генерацией турбулентности (завихренности), т.е. трансформацией энергии импульса в энергию момента импульса и наоборот, диссипации турбулентности, конвективным и диффузионным (характерным только для турбулентного потока) переносом массы, импульса, момента импульса и энергии, крупномасштабной завихренности и др.

Рассматривая существующие методы математического описания турбулентных потоков, например, основанные на дифференциальных уравнениях Рейнольдса (осредненных по времени уравнениях Навье-Стокса), уравнения неразрывности, уравнения баланса турбулентной энергии (« k » - уравнение) и диссипации этой энергии (« ϵ » - уравнение) можно сделать вывод, что, во-первых, в этом случае используются лишь законы сохранения массы и импульса. Это не позволяет с высокой точностью учесть процессы, связанные с законом сохранения момента импульса, а именно: процессы генерации, диссипации турбулентности (завихренности) и трансформации энергии импульса в энергию момента импульса и наоборот.

В докладе показана приближенность учета диффузионного переноса импульса и момента импульса современными методами расчета.

Обширные комплексные исследования потока в проточной части высоконапорной радиально-осевой гидротурбины проведенные на современном гидротурбинном стенде кафедры «Гидравлические машины» им. Г.Ф. Проскуры с помощью пятиканальных шаровых зондов и специально разработанного устройства по замеру распределения давления на поверхностях лопастей подтвердили наличие сложной вихревой структуры потока, являющейся причиной повышенных потерь энергии в гидротурбинах на напоры 400–500 м.

В докладе анализируются особенности вихревой структуры потока в проточной части высоконапорных гидротурбин, рассматриваются преимущества и недостатки существующих современных методов математического описания турбулентных потоков и предлагаются новые подходы, учитывающие при расчете потока диффузионный перенос не только импульса, но и момента импульса, а также трансформацию энергии импульса в энергию момента импульса и наоборот, и др. процессы.

НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ КОНСТРУКЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

¹Пупань Л.И., ²Симонова А.А.

¹*Национальный технический университет*

«Харьковский политехнический институт», г. Харьков

²*Кременчугский национальный университет им. М. Остроградского,
г. Кременчуг*

Одной из наиболее важных и востребованных областей применения нанотехнологий является создание принципиально нового класса конструкционных материалов – с высокими значениями прочности и твердости, с благоприятным сочетанием прочности и пластичности и т.д.

В отличие от существовавших ранее направлений улучшения свойств конструкционных материалов путем легирования и изменения фазового состава нанотехнологический подход основан на формировании у материалов нанокристаллического строения, т.е. уменьшения размера кристаллитов до нанодиапазона (1...100 нм), что способствует проявлению специфических механизмов деформации и разрушения, реализации эксплуатационных свойств, отличных от крупнокристаллических аналогов.

Одним из достаточно отработанных и потенциально пригодных для промышленного применения методов получения объемных наноматериалов является метод интенсивного пластического деформирования, в частности всесторонняя ковка, которая заключается в реализации сравнительно простых операций – осадки и протяжки, многократно повторяющихся с изменением оси деформирующего усилия. Важной особенностью является возможность реализации этого метода на усовершенствованном стандартном оборудовании.

В данной работе исследовался технически чистый титан BT1-0, применение которого в качестве конструкционного материала возможно во многих инновационных отраслях промышленности, в т.ч. в авиационно-космической отрасли, в автомобилестроении, а также в медицине.

«Наноразмерность» структуры указанного материала обеспечивалась методом всестороннейковки.

Контроль структурных параметров (размеров кристаллитов) осуществлялся с помощью сканирующего электронного микроскопа Hitachi F-148. В качестве характеристики механических свойств исследовалась микротвердость.

Как показали исследования, значения микротвердости материала BT1-0 после всестороннейковки существенно выше по сравнению с исходным состоянием (более чем в 1,6 раза).

Установленная в работе область рациональных режимов резания (фрезерования), применяемого для получения конечных изделий, позволила гарантировать стабильность структуры BT1-0 в процессе механической обработки и, соответственно, высокий уровень механических свойств функциональных изделий.

К ОСОБЕННОСТЯМ ШЛИФОВАНИЯ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

Пыжов И.Н., Федорович В.А., Волошкина И.В.

***Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», г. Харьков***

Известно, что отличительной особенностью и закономерностью процессов алмазного шлифования поликристаллических сверхтвердых материалов (ПСТМ) является периодичность изменения значений всех выходных показателей обработки, связанная в первую очередь с характером износа алмазных кругов [1-2]. Сказанное относится как к шлифованию PSTM по «упругой» [1], так и «жесткой» [2] схемам. На базе явления периодичности уже предложены и реализованы эффективные способы шлифования, позволяющие существенно повысить производительность процесса при приемлемых значениях удельного расхода алмазных кругов. Однако недостаточная изученность физических явлений, лежащих в основе явления периодичности не позволяет наиболее полно использовать технологические возможности отмеченных выше процессов шлифования.

В этой связи представляется возможным и целесообразным использование для этих целей методологии 3D моделирования напряженно – деформированного состояния в зоне контакта алмазных зерен с PSTM [3]. В перспективе это позволит на базе модельных физических исследований уточнить представления о явлениях, происходящих в этой системе и в итоге предложить эффективные подходы для создания условий, при которых возможна активизация процесса самозатачивания алмазных зерен в кругах путем их микро – и макроразрушения. Этот путь при обработке PSTM является наиболее перспективным, поскольку для съема припуска с обрабатываемого материала зерна должны иметь на своей поверхности острые микро – и субмикроромки. В итоге это должно привести к наиболее полному использованию потенциально высоких режущих возможностей алмазных зерен, а, следовательно, и к повышению эффективности процессов шлифования PSTM в целом. Учитывая то, что к настоящему моменту уже накоплен достаточный экспериментальный материал в рассматриваемой предметной области (данные станочных экспериментов), такой подход представляется достаточно эффективным, поскольку в сочетании с результатами физических модельных экспериментов он позволит сделать научно обоснованные выводы и рекомендации и разработать эффективные процессы шлифования PSTM.

Литература:

1. Грабченко А.И. Повышение производительности шлифования СТМ с управлением режущим рельефом круга / А.И. Грабченко, И.Н. Пыжов // Сверхтвердые материалы. – 1982. – № 5. – С. 34-37. 2. Грабченко А.И. Повышение эффективности алмазного шлифования поликристаллических СТМ в режиме самозатачивания / А.И. Грабченко, И.Н. Пыжов // Сверхтвердые материалы. – 1983. – № 5. – С. 34-38. 3. Грабченко А.И. 3D моделирование алмазно-абразивных инструментов и процессов шлифования / А.И. Грабченко, В.Л. Доброскок, В.А. Федорович. Учебн. пособие. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006.-364 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ АЛМАЗНО-ИСКРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ

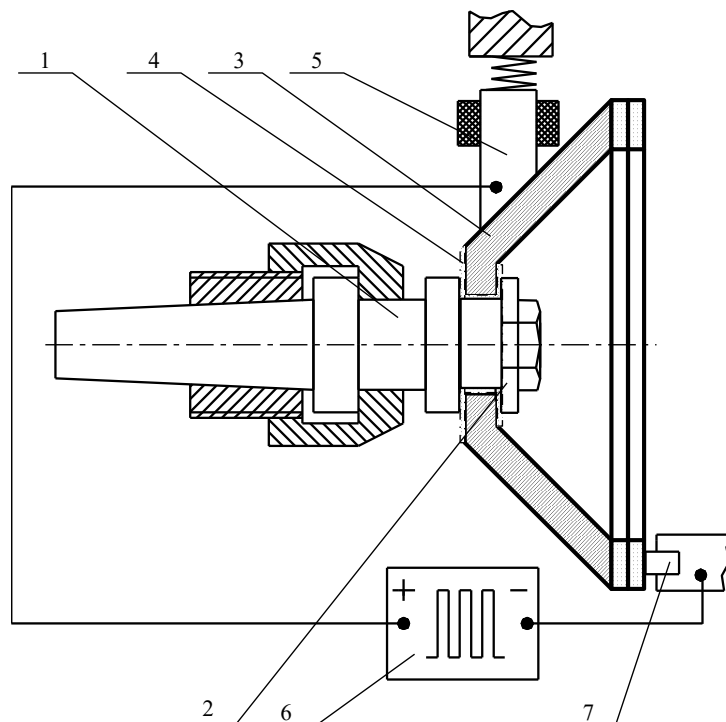
Руднев А.В., Севидова Е.К., Ивкин В.В.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», г. Харьков*

Применение в больших объёмах труднообрабатываемых материалов при высоких требованиях к качеству, надёжности и эксплуатационным свойствам продукции требует большего использования шлифования с введением электрической энергии в зону алмазно-абразивной обработки.

Для реализации процесса алмазно-искрового шлифования, то есть для шлифования с введением в зону обработки дополнительной энергии в виде электрических импульсов, станок модернизируют. Модернизация заключается в изоляции алмазного круга на токопроводящей связке от корпуса станка и установке токосъёмного устройства. При этом затрагивается шпиндельный узел, на котором на посадочный диаметр оправки закрепляется изолирующая втулка из текстолита и на неё напрессовывается медное кольцо, к которому подводится графитовая щётка токосъёмника.

Появление покрытий, имеющих диэлектрические свойства, позволяет нам предложить их использование непосредственно на корпусе алмазного круга вместо электроизоляционного узла на шпинделе станка (см. рис.). При этом токоподвод к инструменту осуществляется через свободную от электроизоляционного покрытия часть поверхности его металлического корпуса.



- 1 - шпиндель станка; 2 - детали крепления круга; 3 – корпус шлифовального круга;
4 - диэлектрическое покрытие поверхности посадочного отверстия и боковых поверхностей
круга; 5 – щётка токоподвода; 6 - генератор технологического тока; 7 - обрабатываемая

деталь

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РАДІАЛЬНО-ОСЬОВОЇ НАСОС-ТУРБІНИ ЗІ СПЛІТЕРОМ

Русанов А.В., Агібалов Є.С., Хорєв О.М., Заїка С.М.

***Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного Національної
академії наук України, м. Харків***

Одним з ефективних методів вирішення проблеми підвищення ефективності радіально-осьових гидромашин та розширення діапазону її роботи є застосування робочих коліс (РК) з проміжними лопатями меншої довжини - сплітерами. Проведено аналіз сучасних літературних джерел з цієї теми, який показав перспективність використання таких коліс як в гідротурбінах Френсіса, так і в насос-турбінах. У той же час встановлено, що питання впливу геометричних параметрів РК насос-турбін зі сплітером (число лопатей, відносна довжина спліттера, розташування його в каналі і ін.) вивчено недостатньо повно і вимагають подальших досліджень.

В Інституті проблем машинобудування НАН України розроблено методику проектування РК зі сплітером радіально-осьового типу. Побудовано комп'ютерні моделі серії робочих коліс з сплітером насос-турбін на параметри Дністровської ГАЕС: модель восьмилопатевого колеса з лопатями однакової довжини (в РК ОРО170/5217, що встановлене на Дністровській ГАЕС, 7 лопатей); моделі РК з чотирма вихідними лопатями і чотирма укороченими – з відносною довжиною лопаті 80; 65; 50%.

Виготовлено моделі чотирьох РК діаметром $D_1=350$ мм. Покривний верхній диск зі втулкою і обтічник виготовлено з металу, нижній диск – з оргскла. Лопаті біло надруковано на 3D-принтері з матеріалу PLA.

Експериментальні дослідження проведено на гідродинамічному стенді ІПМаш НАН України, який за своїми параметрами і обладнанням є унікальною спорудою, відповідає всім рекомендаціям міжнародного коду ІЕС 60193 і має статус «національного надбання НАН України».

Проведено дослідження та отримані енергетичні характеристики в турбінному і насосному режимах при різних відкриттях направляючого апарату для п'яти проточних частин з різними РК: вихідним ОРО170/5217; його восьмилопатевою варіантом; а також РК зі сплітерами 80, 65 і 50% довжини лопаті.

Підтверджено можливість виготовлення лопатевих систем робочих коліс на 3D-принтері для проведення досліджень на гідродинамічному стенді при напорі до 10 м.

Побудовано універсальні характеристики для всіх варіантів проточних частин.

Отримано залежності енергетичних показників моделі-насос турбіни від довжини спліттера в турбінному режимі.

Отримано залежності форми напорних та енергетичних характеристик РК від довжини слітеру в насосному режимі.

Отримані результати є основою для подальших чисельних та експериментальних досліджень робочих коліс зі сплітером.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АЛМАЗНОГО ВИГЛАДЖУВАННЯ

Рязанова-Хитровська Н.В., Пижов І.М., Федорович В.О.

Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут», м. Харків

Використання новітніх комп'ютерних технологій у дослідженнях, спрямованих на розробку концепції прогнозуючого 3D моделювання методом скінченних елементів стосовно процесу алмазного вигладжування з метою забезпечення заданого рівня зносостійкості оброблених поверхонь в реальних умовах експлуатації, є важливим і актуальним завданням сьогодення. Такий підхід є особливо ефективним в умовах впровадження в промисловості нових марок конструкційних та інструментальних матеріалів, а також постійного удосконалення технологій обробки (вигладжування) з урахуванням факторів економічності та екологічного аспекту[1].

Підвищення ефективності процесу алмазного вигладжування доцільно умовно поділити на два етапи: удосконалення конструкцій і технології виготовлення вигладжувального інструмента, а також оптимізацію безпосередньо процесу вигладжування (рисунк 1).

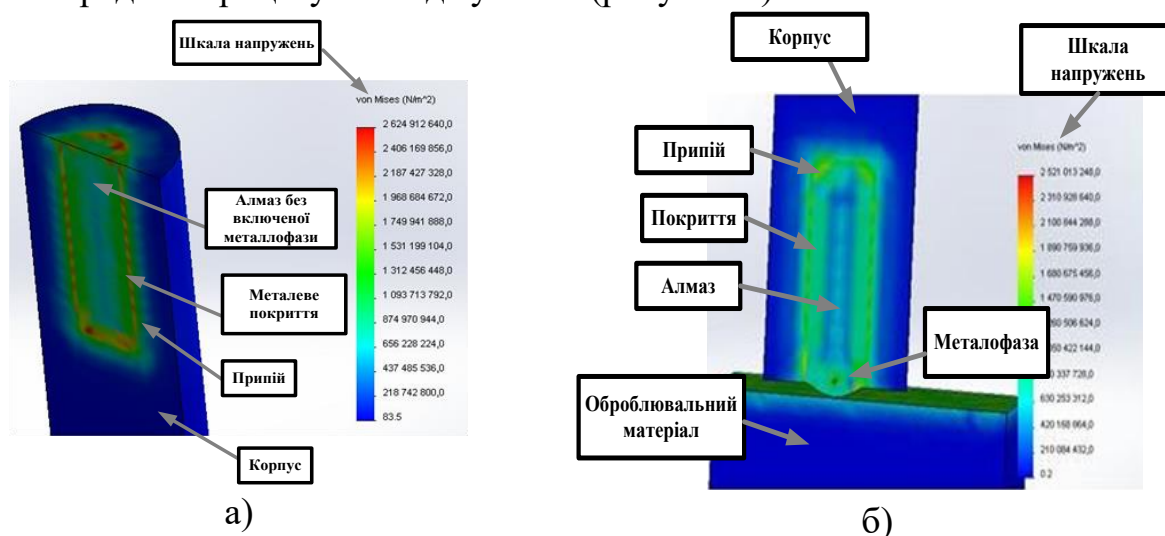


Рисунок 1 – Фрагменти реалізації концепції прогнозуючого 3D моделювання методом скінченних елементів стосовно виготовлення вигладжувача (а) та безпосередньо процесу вигладжування (б)

Виконані розрахунки дозволили встановити перспективність таких інструментальних матеріалів як алмаз, виготовлений методом CVD (який практично не містить у своєму складі металофази), а також кубічний нітрид бору. Встановлено, що еквівалентні напруги, що виникають в зоні обробки, знижуються по мірі зростання радіуса при вершині при одночасному зменшенні шорсткості обробленої поверхні. Однак для встановлення оптимального значення радіуса потрібні більш детальні дослідження.

Література:

1. Торбило В.М. Алмазное выглаживание [Текст] / В. М. Торбило. – М.: Машиностроение, 1972. – 105 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ МІКРОДУГОВИХ ПОКРИВІВ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ КОРПУСІВ АЛМАЗНИХ КРУГІВ

Севидова О. К., Гуцаленко Ю. Г., Макогон А. В., Гученко О. М.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Проведено та отримано результати вимірювання об'ємного з розрахунками відповідного питомого електричного опору мікродугових покриттів зразків-свідків деформівних алюмінієвих сплавів Д16Т і АК6 корпусів алмазних кругів.

Вимірювання проводили у відповідності з ГОСТ 6433.2. Використовували тераомметр Е6-13, робоча напруга складала 100 В. Мідний циліндричний контактний зразок 1 Ø 6,5 мм і висотою 5 мм за допомогою щупового електрода 2 притискали до поверхні покриття 3 з силою 1 Н/см². Інший щуп 2 притискували прямо до оголеної поверхні матеріалу основи 4 (рис. 1).

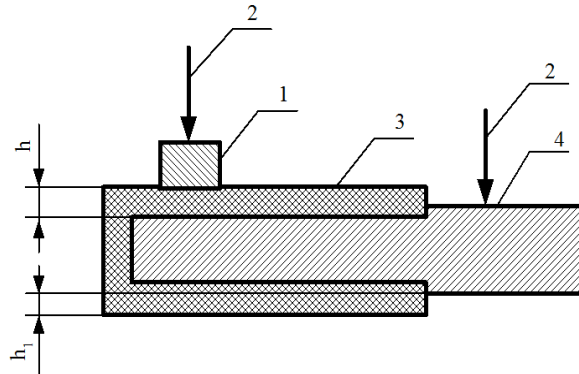


Рис. 1. Схема підключення електродів

Результати визначення питомого електричного опору ρ_v для експериментальних електролітів на базі рідкого скла (РС) в залежності від густини анодного струму j в гальваностатичному режимі наведено на рис. 2.

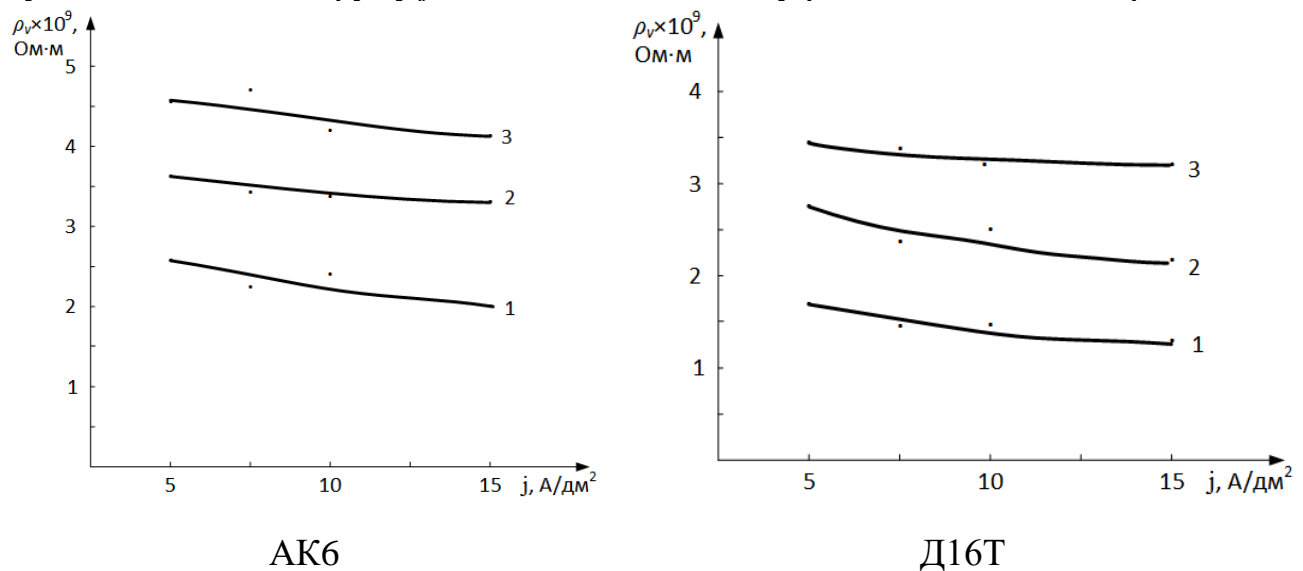


Рис. 2. Залежність ρ_v від j для формування покриттів в електролітах:
1 – 2 г/л КОН + 12 г/л РС; 2 – 1 г/л КОН + 6 г/л РС; 3 – 12 г/л РС

Отримані дані підтримують технічну ідею застосування мікродугових діелектричних покриттів алюмінієвих корпусів алмазних кругів для спрощеної організації алмазно-іскрового шліфування на універсальних верстатах.

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ РЕЖИМІВ ФОРМУВАННЯ ЕЛЕКТРОІЗОЛЯЦІЙНИХ МІКРОДУГОВИХ ПОКРИВІВ НА КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛАХ КОРПУСІВ АЛМАЗНИХ КРУГІВ

Севидова О.К., Гуцаленко Ю.Г., Степанова І.І.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Покриви, що формуються на поверхні вентильних металів методом мікродугового оксидування (МДО) відомі своєю поліфункціональністю завдяки наявності широкого спектру унікальних властивостей. Дослідження, проведені на кафедрі «Інтегровані технології машинобудування» ім. М.Ф. Семка НТУ «ХПІ» в останні роки, дозволили науково обґрунтувати застосування МДО-покровів в якості електроізоляційних на металевих корпусах алмазних шліфувальних кругів [1]. Це дозволяє використовувати їх в технологіях комбінованих електрофізикохімічних методів шліфування без створення додаткових засобів струмозахисту шпіндельних вузлів верстатів на універсальному устаткуванні.

Мета роботи – визначення раціональних режимів МДО, які забезпечують формування покровів з високими діелектричними показниками на конструкційних сплавах Д16Т і АК6.

Дослідження проводили в 3-х розчинах лужно-силікатної групи за двома електричними режимами – гальваностатичному (ГС) на анодному струмі та режимі довільно падаючої потужності (ДПП) на анодно-катодному струмі.

Встановлено, що МДО-покриви товщиною 30...60 мкм, сформовані в обох режимах, відповідають вимогам щодо електроізоляції – забезпечують загальний об'ємний опір на посадовому отворі круга $10^7...10^8$ Ом і напругу пробою 350...760 В. Подальше зростання товщини покровів призводить до погіршення питомих показників цих характеристик – електричної міцності, E , та питомого об'ємного опору, ρ_v .

Кращі показники діелектричних властивостей на обох сплавах – питомий опір $\rho_v = (4...9) \cdot 10^9$ Ом·м і електричну міцність $E = 13...14$ В/мкм - забезпечує розбавлений розчин 1г/л КОН + 6 г/л РС (рідке скло).

За електрофізичними показниками покриви, сформовані в режимі ДПП, перевершують аналогічні характеристики ГС-покровів із сумірною товщиною. В залежності від сплаву і складу розчину збільшення значень ρ_v сягає 1,5...2,5, а E – 1,4...2,1 рази. З урахуванням цього режим ДПП вибрано базовим для розробки технології формування електроізоляційних покровів на корпусах алмазних шліфувальних кругів.

Література:

1. Патент на корисну модель UA117767U B24Д 5/16 (2006.01). Шліфувальний круг / Ю.Г. Гуцаленко, О.К. Севидова, В.В. Белозеров, Г.І. Махатілова, (Україна) U201700074, заявл. 03.01.2017, опубл. 10.07.2017, Бюл. №13.

ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ПРОЦЕСУ ПРАВКИ ШЛІФУВАЛЬНИХ КРУГІВ

Степанов М.С.¹, Іванова Л.П.², Іванова М.С.¹, Басова Є.В.¹,
Літовченко П.І.²

¹ *Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»*,

² *Академія внутрішніх військ МВС України, м Харків*

Параметри точності обробки на круглошліфувальних верстатах визначаються тепловими деформаціями елементів технологічної системи. При цьому основним джерелом тепла є зона різання, де виділяється 50 – 60 % від сумарної теплової енергії, що генерується працюючим верстатом. Для зниження теплової енергії в зоні різання слід зберігати максимальне значення різальної здатності шліфувального круга, що забезпечується різними методами правки. Розроблений спосіб підтримки різальної здатності круга передбачає впровадження додаткових правок з метою зниження енергоємності процесу шліфування. Для забезпечення ефективності енергоємності розробленого способу правки порівняно з традиційним необхідно дотримуватись умови

$$E_{\text{трс}} > E_{\text{рс}},$$

де $E_{\text{трс}}$, $E_{\text{рс}}$ – енергія, яку витрачено на правку круга традиційним та розробленим способами, відповідно.

В загальному випадку енергія, яка витрачається на правку,

$$E_{\Sigma} = E_{\text{пр}} + E_{\text{пер}},$$

де $E_{\text{пр}}$ – енергія, яка безпосередньо витрачається на правку круга; $E_{\text{пер}}$ – енергія, що витрачається на переміщення алмазного олівця.

Значення $E_{\text{пр}}$ в i -тому інтервалі часу визначається як

$$E_{\text{пр}} = k \cdot V_{\text{к}} \int_{t_i}^{t_{i+1}} P_{\text{зп}} \cdot (t) \cdot dt,$$

де $V_{\text{к}}$ – швидкість шліфувального круга, $P_{\text{зп}}$ – тангенціальна складова сили різання при правці.

Енергія переміщення визначається за формулою

$$E_{\text{пер}} = N_{\text{пер}} \cdot t_{\text{пер}} = N_{\text{пер}} \cdot H_{\text{к}} / V_{\text{пр}},$$

де $N_{\text{пер}}$ – потужність, витрачена на переміщення алмазного олівця; $t_{\text{пер}}$ – час переміщення алмазного олівця; $H_{\text{к}}$ – висота шліфувального круга; $V_{\text{пр}}$ – швидкість переміщення алмазного олівця при правці.

Потужність, яка витрачається на переміщення алмазного олівця, залежить від сили, потрібної для його переміщення, $F_{\text{пер}}$ та швидкості $V_{\text{пр}}$.

Величина $F_{\text{пер}}$ визначається сумою

$$F_{\text{пер}} = F_{\Sigma} + P_x,$$

де F_{Σ} – сила опору, яка виникає внаслідок переміщення стола з встановленими на ньому деталями; P_x – осьова складова сили різання при правці. Задача дослідження полягає у пошуку оптимальної кількості правок, яка забезпечує мінімальні витрати енергії.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТУВАННЯ НАФТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ

Тиньянова І.І., Баркар К.Д., Біжко Р.Г.

***Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків***

Нафта і нафтопродукти проходять складний шлях транспортування, зберігання і розподілу. При цьому вони піддаються численним транспортним операціям, які супроводжуються втратами. Втрати нафти і нафтопродуктів у навколишнє середовище мають глобальний характер і без постійного дотримання дієвих заходів щодо боротьби з ними вони будуть зростати.

Ефективна боротьба з втратами нафти може дати позитивні результати лише у разі, коли будуть ясні загальні причини втрат, виявлені джерела їх походження.

Значну долю в загальному балансі втрат складають втрати від випаровування в резервуарах і при зливних та наливних операціях. При зберіганні нафти в звичайних вертикальних резервуарах зі стаціонарними дахами втрачається велика кількість легких фракцій. Особливо великі втрати легких фракцій нафти за рахунок так званого «дихання» резервуарів. Величина цих втрат залежить від фізико-хімічних властивостей і складу нафтопродуктів. Ці втрати значні і є не лише кількісними, але і якісними, оскільки продукти, що залишаються в резервуарі, можуть значно змінити свої властивості.

У доповіді розглянуті різні причини втрат нафти і нафтопродуктів при їх транспорті та зберіганні. Приведені результати розрахунку втрат нафти від "великих" та "малих" дихань резервуарів. Розглянуті сучасні методи, що дозволяють мінімізувати втрати від випаровування нафти, а саме:

– Усяке зменшення газового простору є одним з ефективних методів боротьби з втратами від випаровування. Цей метод отримав втілення в резервуарах з плаваючими дахами, з понтонами або плаваючими екранами.

– Скорочення амплітуди коливання температури газового простору зменшує втрати від випаровування. Для цього застосовують теплоізоляцію резервуарів, охолодження їх в літню пору водою, забарвлення світловідбиваючої фарбою та підземне зберігання.

– Зберігання під надлишковим тиском. Однак таке зберігання ускладнює конструкцію і здорожує конструкцію резервуара.

– Уловлювання парів нафтопродукту, витісняючи їх з ємкості. Для цього застосовують газоуравнітельні обв'язки, що представляють собою окремі трубопроводи, що з'єднують газовий простір резервуарів.

– Орг-технічні заходи: зберігати при максимальному заповненні резервуарів; зменшення проміжку часу між викачування і закачуванням в резервуар; регулярна перевірка герметичності даху і справності клапанів; установка під дихальними клапанами диска-відбивача.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК РАСЧЕТА ВОЛНОВЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Ткаченко В.Н.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

В настоящее время проектный расчёт волновой передачи, независимо от принятого критерия работоспособности, начинается с вычисления диаметра отверстия гибкого колеса, причем результаты расчетов проектируемой передачи будут отличаться в зависимости от выбранного критерия.

В [1] диаметр ГК вычисляется из условия ограничения давления между зубьями.

Рекомендуемые в [1] значения $[p] = 60 - 65$ МПа.

Если вычислять d_f по критерию несмятия рабочих поверхностей зубьев по рекомендациям [2], то $[\sigma_{см}] = 10 - 30$ МПа.

В [3] d_f рекомендуется определять из расчёта гибкого колеса на прочность при кручении в предположении равномерного распределения по зубьям касательных сил в двух равных диаметрально противоположных областях.

Рекомендации по [3] и [4] основаны на критерии износостойкости.

По [3] $[\sigma_{см}] = 10 - 20$ МПа.

А по [4] $[p] = 20 - 25$ МПа.

С рядом упрощающих допущений автор [5] получил приближенную зависимость для определения диаметра d_f по критерию изгибной выносливости колеса в области зубчатого венца.

Диаметр гибкого колеса в [6] рекомендуют так же определять по критерию динамической грузоподъемности подшипника генератора волн деформации.

Для сравнения результатов расчётов вычисляется диаметр d_f передачи с передаточным числом $u = 100$, вращающим моментом на выходе 800 кН мм при $L_h = 10000$ часов и $n_n = 1500$ об/мин при $\psi = 0.2$ и $N_\sigma = 1,7$.

По методике [3] $d = 246$ мм, по методикам [2],[3],[4] соответственно 159 мм, 142 мм, 156 мм и 207 мм, 198 мм по методикам из [5].

Конечные результаты, как видно существенно отличаются.

Обработка данных и характеристик, серийно выпускаемых силовых волновых передач фирмы "United Shoes Machinery Corporation" (США) позволяет отдать предпочтение методике [1], так как она позволяет точно определить размеры всех базовых редукторов, серийно выпускаемых этой фирмой.

Література:

1. Гинзбург Е.Г. Волновые зубчатые передачи. – Л.: Машиностроение, 1979.-158 с.
2. Шувалов С.А. и др. Волновые механические передачи.- М.: Машиностроение, 1976.- 81 с.
3. Волков Д.П., Волновые зубчатые передачи.- К.: Техніка, 1976.- 240 с.
4. Решетов Д.Н. Детали машин.- М.: Машиностроение, 1989.- 472 с.
6. Кудрявцев В.Н. Детали машин. М.-Л.: Машиностроение, 2007. - 465 с.

МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ЗУБЬЕВ НА НАПРЯЖЕНИЯ ИЗГИБА В ЗУБЧАТОМ ВЕНЦЕ ГИБКОГО КОЛЕСА ВОЛНОВОЙ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ

Ткаченко В.Н., Кулик Г.Г.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

В сдеформированном гибком колесе напряжения изгиба возрастают из-за переменной изгибной жесткости в окружном направлении. Как и в обычных зубчатых колесах в области основания зуба наблюдается концентрация напряжений. Из-за многопарности зацепления, в отличие от обычных зубчатых передач, эффект возрастания напряжений из-за концентрации напряжений обусловлен деформацией зубчатого венца генератором волн. Таким образом возрастание напряжений обусловлено двумя факторами – переменной изгибной жесткостью и геометрией зуба у основания, где наблюдается эффект концентрации напряжений.

Для расчетов гибкого колеса на изгибную выносливость необходимо разделить эти два фактора.

Учет переменной изгибной жесткости возможен только, если известна та часть высоты зуба, которая эффективно участвует в деформации изгиба зубчатого венца.

В работе [1] эта высота определялась экспериментально поляризационно-оптическим методом.

В качестве моделей использовались плоские рейки с исходным контуром по ГОСТ 9587-66 увеличенным в 10 раз.

Результаты исследования показали, что в деформации изгиба участвует часть зуба высотой $0,5 \cdot m$. В работе были также получены формулы для определения концентрации напряжений. В [2] рекомендуют при оценке влияния жесткости учитывать не $0,5 \cdot m$, а m . Исследования проверены на кафедре «Детали машин и мехатронные системы» дали результаты близкие к результату [1], т.е. $h = 0,45 \cdot m$.

Коэффициент концентрации напряжений по результатам [3] равен $K_\sigma = 1,5 \dots 1,6$, по рекомендациям [2] $K_\sigma = 1,8 \dots 2$, по [1] $K_\sigma = 1,4 \dots 1,5$. Таким образом при расчетах гибкого колеса на изгибную выносливость следует отдать предпочтение формулам из работ [1] и [3].

Литература:

1. Синкевич Ю.Б. Влияние зубьев на напряженное состояние венца гибкого колеса волновой передачи / Синкевич Ю.Б. – Красноярск. 1997 Сб. научных трудов Красноярского политехн. ин-та. Выпуск Волновые передачи. г. 2. Иванов М.Н. Детали машин. Курсовое проектирование / Иванов М.Н. – М.: «Высшая школа», 1989 г. 3. Ткаченко В.Н. Анализ напряженно-деформированного состояния гибкого колеса волновой зубчатой передачи / Харків: НТУ «ХПИ». 2011. С. 238-242. – Високі технології в машинобудуванні. Збірник наукових праць.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБОБЩЕННЫХ АНАЛИТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОГИБАЮЩИХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ СИСТЕМЫ СПИД НА ТОЧНОСТЬ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Французов В.И.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Обобщенные аналитические модели огибающих инструментальных поверхностей [1, 2], вместе с методикой перехода от числового образа к аналитическому [3] и методикой определения профиля режущей кромки и задней поверхности режущей части инструмента в заданном сечении, позволяют решать не только прямую, но и обратную задачи формообразования.

Именно решение обратной задачи формообразования, когда в качестве исходной рассматривается формообразующая поверхность, позволяет исследовать влияние системы СПИД на точность изготовления деталей.

Например, изменение профиля формообразующей поверхности инструмента позволяет исследовать влияние износа инструмента, изменение значений координатных параметров – влияние погрешности установки детали и инструмента, нелинейная связь кинематических и независимых параметров – влияние погрешности кинематики формообразования, нелинейная связь координатных и независимых параметров – влияние вибраций и т.д.

Следует отметить, что при решении вышеуказанных задач установление вида связи аффинных, координатных и независимых параметров является отдельной задачей исследования.

Литература:

1. *Французов В.И.* Аналитическая модель огибающей инструментальной поверхности для сложного движения гомовинтовой поверхности с изменяющейся образующей. //Резание и инструмент в технологических системах. - Межд.научн.-техн. сборник.- Харьков: ХГПУ, 1999, вып. 53. 215 с.
2. *Французов В.И.* Обобщенная аналитическая модель огибающей инструментальной поверхности с нелинейной функциональной связью аффинных и независимых параметров. //Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: збірка наукових праць ХДПУ. Вип. 7. У чотирьох частинах. Ч.2:- Харків: Харк. Держ. Політехн. Ун-т. 1999.- 400 с.
3. *Французов В.И.* Определение значений параметров гомовинтовой поверхности как общей модели инструментальной поверхности. Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. Научн.-техн.сб.- Харьков: НТУ «ХПИ», 2008.- Вып. 74.- 318 с.

К ВОПРОСУ СИНТЕЗА СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ГИДРОТУРБИН

Черкашенко М.В., Потетенко О.В., Шудрик А.Л., Дорошенко А.В.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Потребление электрической энергии во время работы ГЭС непрерывно изменяется в широких пределах. Если не принимать специальных мер по регулированию гидроагрегатов, питающих сеть, то это вызовет изменение частоты переменного тока.

Современные правила технической эксплуатации электрических сетей переменного тока предусматривают поддержания постоянной частоты с отклонением от нормальной величины, которая составляет 50 Гц, в пределах $\pm 0,2\%$.

В виду этого возникает необходимость максимально точного регулирования взаимного открытия и закрытия лопаток направляющего аппарата и рабочего колеса гидротурбины согласно комбинаторной зависимости для обеспечения наиболее устойчивой работы и достижения наибольшего КПД.

Позиционные гидропневмоагрегаты находят широкое использование в объектах автоматизации, в частности в гидравлических турбинах.

В докладе предлагается применение методов синтеза систем позиционных гидропневмоагрегатов, работающих в дискретном и дискретно-аналоговом режимах, которыми являются механизмы поворота лопаток направляющего аппарата и рабочего колеса в ПЛ, ПЛД и РОД турбинах.

АНАЛІЗ ВПЛИВУ КОНСТРУКЦІЇ ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ СУЧАСНИХ ГУСЕНИЧНИХ МАШИН НА ШВИДКІСТЬ РУХУ

Чернишев В.Л., Бабенко В.П., Денисюк В.В.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

На сьогоднішній день, при проектуванні нових зразків військових гусеничних і колісних машин (ВГКМ) та модернізації застарілої техніки, багато уваги приділяється розробці і удосконаленню сучасних комплексів озброєння, силових установок і трансмісій. Однак, в силу тих чи інших причин, цей процес майже не торкнувся систем підресорювання (СП).

Як показали теоретичні дослідження, полігонні та військові випробування, застаріла СП багатьох типів ВГКМ не дозволяє повною мірою реалізовувати їхні можливості, що зросли, завдяки удосконаленню інших систем. Важливими причинами такого стану справ є те, що теоретичні методи, методології і підходи, які застосовувалися при розробці і удосконаленні вузлів СП ВГКМ до останнього часу, застаріли та малоефективні, а технічні рішення (ТР) і фізичні принципи дії (ФПД) вузлів підвіски, що використовуються, вичерпали свій „венчурний” потенціал.

Таким чином, актуальною проблемою є обґрунтування, розробка та застосування нових методів, методологій і підходів при створенні перспективних зразків вузлів СП, прогнозування їх розвитку та пошук нових ТР і ФПД. Це забезпечить якісний стрибок у розвитку СП ВГКМ, що, у свою чергу, дозволить ефективно реалізувати зростаючі можливості нових систем озброєння, силових установок і трансмісії.

Для визначення нових перспективних напрямків подальшого розвитку СП було проведено функціонально- фізичний аналіз роботи їхніх складових частин, з'ясовано взаємозв'язки зазначених частин між собою та з об'єктами навколишнього середовища. На основі цього, було побудовано конструктивну та потокову функціональні структури СП ВГКМ і отримано цільне представлення про розглянуту технічну систему на рівні фізичних операцій перетворення вхідних і вихідних потоків енергії.

Література:

1. Брагин Ю.И., Зенькович П.А., Истомин Ю.Н. Направления развития ходовой части ВГМ. //«Вестник бронетанковой техники», 1994, №5.
2. Веретенников А.И., Палий А.В. Совершенствование основных боевых танков за последнее десятилетие. ..«Вестник бронетанковой техники», 1994, №8.

ДОДАТКОВА СИСТЕМА ЖИВЛЕННЯ ДВИГУНА ГАЗОВИМ ПАЛЬНИМ ДЛЯ ГУСЕНІЧНИХ МАШИН

Чернишев В.Л., Бабенко В.П., Панарін М.Р.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Система живлення двигунів може мати спеціальне газове обладнання, яка забезпечує при необхідності роботу бензинового двигуна на газовому пальному.

У порівнянні з карбюраторними двигунами газові економічні, менш токсичні, працюють без детонації, мають більш повне згоряння палива і менший знос деталей, термін їх служби більше в 1,5-2 рази. Однак їх потужність менше на 10 ... 20%, так як в суміші з повітрям газ займає більший обсяг, ніж бензин. У них складніше система живлення і обслуговування в експлуатації, вимагає високої техніки безпеки.

Паливом для газових двигунів є стислі і зріджені гази.

Стислі гази – гази, які при звичайній температурі навколишнього повітря і високому тиску (до 20 МПа) зберігають газоподібний стан.

Стислі гази є природними газами. В якості палива для газових двигунів зазвичай використовується природний газ метан.

Зріджені гази – гази, які переходять з газоподібного стану в рідке при нормальній температурі повітря і невеликому тиску (до 1,6 МПа).

Для газових двигунів використовуються зріджені гази наступних марок: СПБТЗ - суміш пропану і бутану технічна зимова; СПБТЛ - суміш пропану і бутану технічна літня; БТ - бутан технічний. Газоподібне паливо менш токсичне, має більш високе октанове число (100 од.), дає менше нагароутворення і не розріджує масло в картері двигуна.

Суміш під дією вакууму поступає в циліндри двигуна. Процес згорання суміші і відведення газів, що відпрацювали, як в карбюраторних двигунах.

Редуктор, окрім зменшення тиску газу, змінює його кількість залежно від режиму роботи двигуна. Він швидко вимикає подання газу при припиненні роботи двигуна. Окрім додаткової, є основна система живлення, що забезпечує роботу двигуна на бензині в необхідних випадках (несправність системи, витрачений увесь газ у балонах та ін.).

Література:

1. Изделие 2Э36-1 ТО и ИЭ. М.: МО, 1986.
2. Сарбаев В.И. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей. – Ростов н/Д: «Феникс», 2004.
3. Вахламов В.К. Техника автомобильного транспорта. – М.: «Академия», 2004.

ДО ПИТАННЯ ПРО ЗАСТОСУВАННЯ НЕПАРАМЕТРИЧНИХ МЕТОДІВ ОЦІНКИ РІВНЯ НАДІЙНОСТІ БРОНЕТАНКОВОЇ ТЕХНІКИ З НИЗЬКОЮ ІНТЕНСИВНІСТЮ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Чернишев В.Л., Бабенко В.П., Поліщук М.Є.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Бойові дії збройних сил України в зоні АТО показали на необхідність виконання вимог надійності, ремонтоздатності і бойової ефективності об'єктів бронетанкової техніки (ОБТТ) і систем озброєння.

Основними ОБТТ української армії є, розроблені ще в радянські часи, танки Т-64Б, БМП-2 і БТР-80, які вже виробили свій ресурс і не відповідають вимогам сучасного сухопутного бою.

Перед прийняттям їх на озброєння, відповідно до військових стандартів того часу, проводилися широкомасштабні іспити: заводські, міжвідомчі і полігонні. Так, в період з 1973 по 1976 р.р. в іспитах взяло участь 1246 танків, а загальний кілометраж полігонних іспитів склав 1617700 км. Вся отримана інформація про роботу і відмовлення машин та їхніх складених систем збиралася у відділах надійності КБ, заводів - виробників і ГБТУ МО СРСР. Це дозволяло одержати достовірну інформацію про роботу ОБТТ і проводити цілеспрямовану їхню модернізацію.

На початку 2000-х років на озброєння сухопутних військ України були прийняті: танк «Оплот», БТР-3 і БТР-4, які, не пройшовши в повному обсязі державних іспитів, були запропоновані іноземним Покупцям - Іракові (БТР-4) і Таїланду («Оплот»). Військова експлуатація в армії Покупця зазначених ОБТТ виявила ряд конструктивних і виробничих дефектів, що привело до розриву ранніх укладених контрактів, причому, значна частина інформації про роботу систем і їхніх відмовлень залишилася в іноземних спеціалістах. У зв'язку з цим виникла ідея оцінити рівень надійності ОБТТ із низькою інтенсивністю експлуатації непараметричними методами [1].

Проведений аналіз публікацій показав, що застосування непараметричних методів оцінки рівня надійності дає гарні результати для літаків [2] і атомних електростанцій [3], що працюють у відносно стабільних умовах експлуатації. Для нових українських ОБТТ це виявилось проблематичним.

Література:

1. Непараметрическая оценка показателей надежности.
Непараметрический метод <https://studfiles.net/preview/2152791/page:3/>
2. Зорин В.А. Основы надежности технических систем. М.: «Академия», 2010.
3. Антонов А.В. Современные методы анализа надежности оборудования АСУТП. М.: Национальный НИИ ядерных исследований МИФИ. 2010.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ “GILL” И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ В СОЗДАНИИ ПОДВИЖНЫХ КОМПЛЕКСОВ СИСТЕМ ВООРУЖЕНИЯ

Чернышев В.Л.¹, Шипулин А.А.², Жережон-Зайченко Ю.В.³

¹Национальный технический университет

«Харьковский политехнический институт»,

²Харьковское конструкторское бюро по машиностроению

имени А.А. Морозова,

³Академия национальной гвардии Украины,

г. Харьков

Для решения важных научно-технических проблем, которые находились на стыках различных оборонных отраслей промышленности, в СССР открывались научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР), которые имели условные открытые названия. Перечень решаемых задач, соисполнители, объемы проводимых работ, конечные результаты и источники финансирования определялись закрытым Постановлением ВПК при Совете Министров СССР и открытием тематической карточки. Контроль за их выполнением, как правило, возлагался на Оборонный отдел ЦК КПСС и представителей Министерства обороны СССР [1].

При проведении НИОКР «**БОКСЕР**» (создание перспективного советского танка 90-х годов, ведущее предприятие - ХКБМ имени А.А. Морозова), выявилась поломка опытной шестискоростной БКП, работающей в блоке с двигателем 6ТД-2. Ситуация усугублялась тем, что аналогичные поломки могли возникнуть в дублирующем проекте – создание танковой электро-механической трансмиссии (НИОКР «**ЭТА**»). В связи с этим, руководством ХКБМ было принято решение разработать методику расчетов динамики переходных процессов в силовой передаче и провести ее экспериментальную проверку на танке Т-64А. Проведенные работы явились основой ИТ «**GILL**», позволяющей на ранних стадиях проектирования анализировать принимаемые решения и формировать требования к системам управления и охлаждения.

В начале 90-х годов XX века, при выполнении НИОКР «**РИФ**» (модернизация тягача МТЛ-Б, ведущее предприятие – ОГКТ ХТЗ), при доводке опытной ГОМТ возникли поломки предохранительного клапана магистрали высокого давления ГОП (разработчик ХАКБ при заводе ФЭД), и повышенный износ зубчатых передач механической КПП (разработчик ОГКТ ХТЗ). Стендовые испытания каждой системы в отдельности прошли удовлетворительно, но их совместная работа оказалась невозможной. Применение ИТ «**GILL**» позволило обосновать алгоритмы управления ГОМТ, которые исключали раннее выявленные поломки. Ходовые испытания опытного изделия с ГОМТ в объеме 450 км подтвердили сделанные рекомендации и позволили успешно завершить НИОКР «**РИФ**».

Литература:

1. Чернышев В.Л. Танки и люди. Дневник главного конструктора А.А. Морозова. -Х.: ХИТВ. 2007.-276 с.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЕЛЕКТРОВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСУ ПРИ ВИДОБУТКУ НАФТИ

Шевченко Н. Г., Шудрик О. Л., Бельмас Д. В.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Робота присвячена актуальній задачі – підвищенню ефективності роботи енергоспоживаючого насосного обладнання у нафтогазовій промисловості.

Одним з основних засобів механізованого видобутку нафти є установки з зануреними електропровідними багатоступінчатими відцентровими насосами. Основними факторами, що ускладнюють роботу ЕВН в свердловині, є наявність газу, води, відкладення солей і парафіну, механічних домішок, великий діапазон в'язкості продукції що перекачується. Відхилення від оптимального режиму роботи насоса, при зазначених вище факторах, призводять до зриву подачі продукції що перекачується, передчасного зносу елементів насоса, вібрацій, заклинювання та ін. технічним проблемам.

Однією з найважливіших умов ефективного використання насосної установки є правильний підбір всього обладнання УЕВН до свердловини. Для кожної конкретної свердловини необхідно підібрати взаємопов'язані типорозміри насоса, електродвигуна з гідрозахистом, кабелю, трансформатора, підйомних труб, а також глибини спуску насоса в свердловину, які забезпечать освоєння свердловини і технологічну норму відбору рідини у системі «Свердловина-ЕВН» при найменших витратах. В роботі проведено аналіз умов експлуатації та причин відмови обладнання УЕВН та тенденції підвищення ефективності їх роботи.

У роботі виконане інформаційний огляд та аналіз наступних питань:

- особливості експлуатації та конструкції електровідцентрового насоса при видобутку газонафтової продукції;
- основні шляхи підвищення ефективності роботи відцентрового насоса при реальних умовах експлуатації нафтогазової свердловини;
- математичне моделювання спільної роботи свердловини та насоса.

Проведена адаптація програмного комплексу «PVT-Well-Pump» (розробленого на кафедрі гідромашин) до прогнозування режиму роботи установки ЕВН на реальні умови експлуатації по промисловим даним Бугреватського родовища НГВУ «Охтирканафтогаз».

Виконано розрахунки по вибору глибини установки насоса та його режиму роботи у свердловині за допомогою пакету програм на задані умови експлуатації.

Розглянуто питання підвищення ефективності роботи відцентрового насоса шляхом «конічної» збірки ступенів ЕВН – розрахунки за допомогою пакету програм.

3D – МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕРИЙНОЙ СБОРКИ СЛОЖНЫХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Шелковой А.Н., Мартынов М.С.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Наиболее сложной и слабо формализованной, с точки зрения математического описания, является поточная сборка (ПСР) с расчленением работ, которая применяется в условиях серийного производства с использованием ручного труда с элементами механизации.

Процесс серийной сборки характеризуется изменением состава изделия, подчиняется закономерностям взаимного положения деталей и их поверхностей в трехмерном пространстве. Порядок сборки определяется свойствами изделия: все детали ограничены в перемещениях по всем направлениям; одни детали закрывают доступ к другим; каждая деталь ориентирована относительно другой.

Динамической модели (ДМ) ПСР позволяет определить пространство ее состояний и принципы их изменения, то есть законы преобразования одних состояний в ПСР в другие.

Динамическая модель позволяет определить основное свойство, характеризующее процесс сборки. Кроме того, через это свойство выражается понятие «изменения», то есть может быть выражено изменение любого объекта процесса сборки.

Сборочный процесс характеризуется организационными, техническими и технологическими связями, которые могут носить наследственный характер, т.е. учитывать предыдущее состояние системы сборки (до текущей технологической операции).

Таким образом, можно считать, что любой элементарный сборочный технологический процесс, в контексте реализации внутриоперационной технологии, своим появлением обязан стечению определенных обстоятельств технологического, организационного, технического и эргономического характера. Поэтому представляется целесообразным ввести иерархическое разбиение множества свойств объектов рабочего места на базовые физические, геометрические характеристики и технические, технологические свойства.

При этом технологический процесс, как инициатор выделения технических свойств, вносит логику во взаимодействие объектов рабочей среды через комбинации соответствующих характеристик, которые, в свою очередь, зависят от значимых, в той или иной степени, факторов сборочного процесса.

Тогда для прогнозирования выходных характеристик системы сборки наиболее эффективным является применение имитационного моделирования сборочного процесса на основе описания поведения производственной среды.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНЖИНИРИНГ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТОЧНЫХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ В УСЛОВИЯХ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Шелковой А.Н., Набока Е.В., Семченко М.С.
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Основными предпосылками использования имитационного моделирования при решении технологических задач в машиностроении являются:

1. Высокий риск, трудность прогнозирования исходов сложных явлений или в тех случаях, когда невозможно или «сверхдорого» реализовать натурную модель ожидаемого явления, чтобы сформировать адекватную стратегию и тактику действий.

2. Необходимость сведения к минимуму влияния случайных факторов процесса на результат технологических действий, а главной – обеспечение требуемых значений «выходов» путем управления и поиска лучшего сочетания «входных» параметров модели с учетом их возможного разброса.

3. Имитационная модель отражает большое число параметров, логику и закономерности поведения моделируемого объекта во времени (временная динамика) и в пространстве (пространственная динамика).

На примерах технологического инжиниринга уровня предприятия (организация производства и синтез систем оптимального управления логистическими потоками) или его локализованных подразделений (цех, участок) можно рассматривать решение двух взаимосвязанных проектных задач:

1 – «прямой» задачи по достижению выходных показателей производства по программе выпуска и себестоимости при обеспечении ограничений по качеству и точности продукции;

2 – «обратной» задачи технологического обоснования и оптимального выбора требуемого состава средств оснащения, его размещения и оптимизации ресурсных потоков под заданные технические и производственные требования на изготавливаемую продукцию.

К прямым проектным задачам относится задача формирования размеров поверхностей детали исходя из конфигурации сборочного узла и иерархии процесса его формирования.

Для обеспечения сборочного процесса без селективного подбора изделий в узле необходимо определить не только иерархию и точность положения деталей в узле, но и последовательность их обработки в зависимости от формы и размеров присоединительных поверхностей. Они, как правило, являются наиболее точными и определяют функциональные характеристики сборочной единицы.

Учет влияния размерных связей в сборочном узле на размерные связи в обрабатываемых изделиях (деталях) на основе имитационного моделирования позволяет решить эту задачу.

СЕКЦИЯ 4. ФУНДАМЕНТАЛЬНИ ТА ПРИКЛАДНІ ПРОБЛЕМИ ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОФИЛЯ ЗУБА ЗВЕЗДОЧКИ ЦЕПНОЙ ПЕРЕДАЧИ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ЭВОЛЮТНОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ

Андриенко С. В.¹, Протасов Р. В.², Устиненко А. В.², Аляров Т. Ш.²

¹ *Харьковский Национальный автомобильно-дорожный университет,*

² *Национальный технический университет*

«Харьковский политехнический институт»,

г. Харьков

Основной причиной выхода из строя цепных втулочно-роликовых передач является абразивный износ шарниров цепи. Однако во многих случаях на первый план выходит проблема ускоренного абразивного износа рабочих профилей зубьев звездочек. Это характерно, например, для цепных передач сельскохозяйственного и горного машиностроения, работающих в условиях повышенной запыленности, передач со втулочными цепями без роликов, часто применяемых в автомобилестроении. Также проблема абразивного износа актуальна для звездочек ведущих колес гусеничной техники. Поэтому разработка новых профилей зубьев звездочек цепных передач и ведущих колес, обеспечивающих уменьшение проскальзывания ролика (или цевки для гусеничного движителя) и, соответственно снижение интенсивности износа, является актуальной научно-практической задачей современного машиностроения.

Предложено построение профиля боковой поверхности зуба звездочки цепной передачи, обладающей лучшими рабочими характеристиками по сравнению со стандартным. Для решения поставленной задачи применен метод синтеза эволютного зацепления на основе построения Бобилье, разработанный А.И. Павловым.

Синтезированный профиль зуба звездочки позволяет иметь в зацеплении выпукло-вогнутый контакт, что снижает контактные напряжения. Также уменьшается удельное скольжение в зацеплении, что позволяет снизить износ и увеличить срок службы передачи.

Таким образом, предложенный метод построения профиля зуба звездочки цепной передачи позволяет получить зацепление с более высокими качественными характеристиками, обеспечивающими повышение износостойкости и надежности его работы.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ СТАТИСТИЧНИХ РІШЕНЬ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО МОМЕНТУ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ПРО ЗАПОБІГАННЯ ПОЖЕЖІ ЗРАЗКА БРОНЕТАНКОВОГО ОЗБРОЄННЯ

Анкудінов О.О., Гецман В.О., Макогон О.А., Навроцький О.В.

***Військовий інститут танкових військ НТУ «ХПІ»,
м. Харків***

Надійність системи пожежогасіння істотно впливає на час відновлення машини після її поразки. В області зіткнення снаряда з бронею утворюється високотемпературна зона. Як результат, вимагає оцінки час зниження температури броні в області пробоїни до значень, коли займання парів паливоповітряної суміші і матеріалів, безпосередньо розташованих поблизу пробоїни, не відбувається. Оскільки склад танкової броні відрізняється на різних ділянках об'єкта та існує величезне різноманіття умов зіткнення снаряда з бронею, час охолодження броні до температури, нижче температури займання палива, можна вважати випадковою величиною [1,2].

Для визначення оптимального моменту прийняття рішення про запобігання пожежі - спрацювання термодатчиків, датчиків вібрації, системи вентилування повітря та відкачування палива пропонуємо скористатися відомим апаратом теорії імовірності та перевірки статистичних гіпотез. Дана задача в математичній постановці формулюється як задача перевірки однієї статистичної гіпотези проти однієї альтернати [3]. За критерієм Неймана-Пірсона визначаються помилки першого та другого роду при помилковому спрацюванні апаратури та пропуску пожежі відповідно, а також потужність критерію. У якості інструмента для перевірки статистичних гіпотез доцільно використовувати континуальне лінійне програмування. Шляхом дискретизації задача трансформується до задачі лінійного програмування, і може бути розв'язана відомими методами, реалізованими за допомогою обчислювальної техніки [4].

Використання рандомізованого правила дозволяє приймати вірне рішення у 96% випадків при заданому рівні значущості 0,1. Запропонований підхід надасть змогу підвищити ефективність роботи системи ППО без зниження рівня надійності. Технічно це можливо досягнути шляхом організації вимірювальної системи з регульовим порогом спрацювання у складі ППО об'єктів БТОТ.

Література:

1. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. / А.Я. Корольченко, Д.А. Корольченко – М.: Асс. "Пожнаука", 2004. – Ч.І. – 713 с.
2. Объект 434. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – М.: Воениздат МО, 1986. – кн.2. – 766 с.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятности. – М.: Наука, 1964. – 576с.
4. Раскин Л.Г., Кириченко И.О. Математические основы исследования операций и анализа сложных систем вооружения ПВО. – Х.: ВИРТА, 1987. – 201с.

ЗМЕНШЕННЯ ВИКИДІВ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН З ВІДПРАЦЬОВАНИМИ ГАЗАМИ ДИЗЕЛІВ

Білик С.Ю.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Сьогодні збільшується екологічне навантаження на навколишнє середовище, внаслідок викидів промислових підприємств та масового використання двигунів внутрішнього згорання, якими оснащені сучасні транспортні засоби.

Кількість вантажних перевезень, що в останній час суттєво збільшується, призводить до збільшення парку транспортних засобів, що здійснюють перевезення, та безпосередньо пов'язано з широким поширенням дизельних двигунів.

Вирішення екологічних проблем, пов'язаних з викидом шкідливих речовин з відпрацьованими газами дизелів посідає ключове місце, адже викиди дизелів забруднюють повітря, погіршують стан навколишнього середовища та негативно впливають на здоров'я людей, спричиняючи різноманітні захворювання.

Жорсткість норм викидів шкідливих речовин призвело до того, що моторобудівні фірми змушені вдосконалювати конструкцію дизелів, перш за все за рахунок оптимізації форми камери згорання і модернізації паливної апаратури, так як ці елементи конструкції відіграють важливу роль в сумішоутворенні і згоранні, а відповідно і в робочому процесі дизеля.

Аналіз літератури показав, що найбільш раціональним заходом щодо зниження викидів є технологія SCR (Selective Catalytic Reduction), яка базується на добавці, що впорскується в потік відпрацьованих газів добавки-реагенту. Як добавка використовується 32,5 % водний розчин мочевины ($\pm 0,5$ %), що знаходиться в окремому баку. Водний розчин мочевины називають AdBlue, він специфікований стандартом DIN 70070. Витрата AdBlue становить близько $4 \div 6$ % витрати палива.

Точне дозування добавки, що залежить від навантаження і обертів - один з центральних чинників регулювання системи. Відношення AdBlue до дизельного палива складає близько 6 : 100. Дозування в основному залежить від температури каталізатора і загальних викидів NO_x .

Виконаний аналіз показав, що по-перше очищення відпрацьованих газів на базі технології SCR дозволяє знизити викиди оксидів азоту на 80 % і крім того, зменшує викиди твердих часток приблизно на 40 %.

По-друге, завдяки технології SCR вантажні автомобілі легко виконують жорсткі вимоги щодо утримання NO_x стандартів Євро-5 і навіть Євро-6, та дозволяє оптимізувати роботу двигуна. Головним наслідком цього є економія дизельного палива на транспортних засобах, оснащених реактором SCR.

КІНЕМАТИЧНА СХЕМА РУШІЯ, ЩО КРОКУЄ**Бондаренко О.В., Устиненко О.В., Протасов Р.В., Зінченко О.І.***Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Сучасна механіка невід'ємно пов'язана з робототехнікою, основні тенденції якої – розробка маніпуляційних та мобільних роботів. Останнім приділяється пильна увага у зв'язку з безмежними можливостями допомоги людині. Однією з основних складових будь-якого мобільного робота є його рушій. Відомо декілька типів рушіїв: колісні, гусеничні, що крокують, літають, повзають, плавають. Роботи що крокують суттєво виділяються з усіх, бо вони, зазвичай, виконуються в антропогенній або анімалістичній подібності, і людина сприймає їх з захопленням. Схем механічних рушіїв, що здійснюють крок, відомо небагато, це механізми Чебишева, Джо Кланна, Тео Янсена, рушії, що базуються на паралелограмному механізмі. Всі вони мають певні недоліки та переваги. Тому розробка нових схем рушіїв для роботів, що крокують є актуальною науково-практичною задачею сучасного машинобудування.

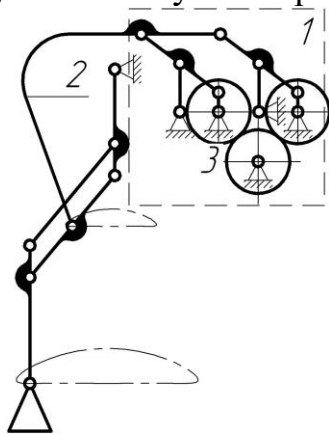


Рисунок 1 – Кінематична схема

Запропоновано у якості базової кінематичної структури прийняти паралелограмний механізм. Складністю такого рушія є необхідність правильного керування цим механізмом для реалізації певного руху. Запропоновано у якості керуючого блока-механізма (1, рис.1) використати два лямбда-подібні механізми Чебишева, поєднати їх на виході ланкою керування (2, рис.1) та синхронізувати зубчастою передачею (3, рис.1) між вхідними ланками. Наведена кінематична схема дозволяє реалізувати крок правильної траєкторії, коли повздовжній переніс ваги об'єкта

здійснюється з вертикальними переміщеннями, що наближені до нуля. Структура та співвідношення ланок паралелограмного механізму обрано у відповідності до анімалістичної структури скелета задньої ноги коня. Проведено структурний, кінематичний і параметричний динамічний аналізи, які показали ефективність запропонованої кінематичної схеми рушія, що крокує. Так як сучасні адаптивні алгоритми підтримки рівноваги не є ідеальними, тому, для реалізації стійкої ходи, робота рекомендовано виконувати з 4-х або 6-ти ногою компоновкою.

СТЕНД ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ, УПРАВЛЕНИЯ И ОЦЕНКИ ДВС

Борисенко А.Н.¹, Сергиенко Н.Е.¹, Кубрик Б.И.¹, Соболев Е.Ф.²

¹Национальный технический университет

«Харьковский политехнический институт»,

²Харьковский государственный автомобильно-дорожный колледж,
г. Харьков

Ряд параметров ДВС, необходимых для его диагностики, управления и оценки ТЭП, могут быть получены в процессе испытаний агрегата на стенде. Если при этом измерять положение топливodoзирующего органа, то можно оценить секундный и удельный эффективный расход топлива. Учет потерь в нагрузочном устройстве, например, генераторе, позволяет более точно оценить и топливно-мощностные показатели собственно ДВС.

Предлагаемый испытательный стенд позволяют: сократить время установления требуемой мощности ДВС; обеспечить равенство фактической и заданной мощностей в установившихся и переходных режимах; учитывать потери в обмотках электрической машины, используемой в качестве нагрузочного устройства; автоматически регулировать положение топливodoзирующего органа в зависимости от момента сопротивления; определять путь и время разгона и выбега двигателя.

На рис. представлена блок-схема разработанного стенда.

Стенд для испытания ДВС 1 содержит генератор 2, соединенный с нагрузочным резистором 3 и входом датчика 4 тока генератора 2. Выход датчика 4 подключен к инвертирующему входу блока 5 интегрирования и вычитающему входу элемента 6 сравнения, суммирующий вход которого соединен с выходом задатчика 7 мощности генератора и неинвертирующим входом блока 5 интегрирования.

Выход элемента 6 сравнения через усилитель 8 связан со вторым входом сумматора 9, а выход блока 5 интегрирования соединен с первым входом сумматора 9. Выход сумматора 9 через последовательно соединенные систему 10 управления возбуждением и возбуждатель 11 связан с обмоткой возбуждения 12.

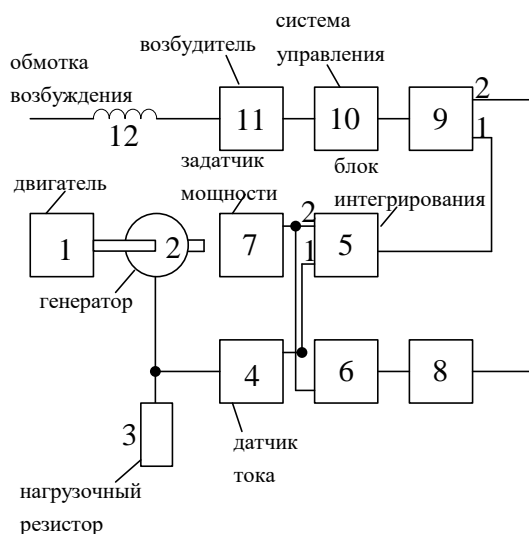


Рисунок – Блок-схема стенда

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ БИОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ОСТЕОМИЕЛИТЕ ДИАФИЗАРНОЙ И МЕТАФИЗАРНОЙ ЧАСТЕЙ БЕДРЕННОЙ КОСТИ

**Веретельник О. В.¹, Ткачук Н. А.¹, Веретельник В. В.¹,
Шимон В. М.², Кубаш В. М.²**

**¹Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», г. Харьков,
²Ужгородский национальный университет, г. Ужгород**

В работе предлагаются результаты численного моделирования оперативного лечения ноги человека пораженной заболеванием остеомиелитом. Данное заболевание сопровождается гнойно-воспалительным процессом, который поражает костные ткани. В результате чего происходят структурные изменения кости, приводящие к изменениям физико-механических свойств.

Для проведения исследования были построены соответствующие трехмерные геометрические модели, в основу которых была положена трехмерная геометрическая модель правой ноги человека, описывающая интактное состояние костных тканей. Данная модель включала подвздошную, бедренную, большеберцовую и малоберцовую кости, а также суставные хрящи. Также модель была дополнена двумя дополнительными элементами, для корректной передачи нагружения и закрепления. Всего было построено три расчетные схемы, которые описывали интактное состояние кости (без повреждений и структурные изменений в костных тканях), остальные две расчетные схемы описывали различные два очага заболевания остеомиелитом, в диафизарном и метафизарном участках кости, соответственно.

Для определения компонент напряженно-деформированного состояния элементов, исследуемых биологической и биомеханической систем, использовался метод конечных элементов, который позволяет получить решения для задач такого класса, так как элементы биологических и биомеханических систем имеют сложную геометрическую форму и структуру.

По итогам проведенных исследований были определены максимальные значения эквивалентных напряжений и полных перемещений для элементов исследуемых биологических и биомеханических систем (после моделирования оперативного лечения – с удалением поврежденных костных тканей и заполнением образованных пустот пористым гидроксиапатитом), а также проведен сравнительный анализ полученных численных величин.

В качестве лечения была предложена обработка полости диодным лазером высокой интенсивности с длиной волны 980 нм, мощностью 10-18 Вт и интервальным режимом лазерного излучения длительностью 5 сек.

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПОЗВОНОЧНО-ТАЗОВОГО СЕГМЕНТА

Веретельник О. В.¹, Ткачук Н. А.¹, Радченко В. А.²,

Пионтковский В. К.³, Веретельник Ю. В.⁴

¹Национальный технический университет

«Харьковский политехнический институт»,

²ГУ «Институт патологии позвоночника и суставов

им. проф. М. И. Ситенко» НАМН Украины, г. Харьков,

³«Ровенская областная клиническая больница», г. Ровно,

⁴ООО «БИИР Украина», г. Одесса

Дегенеративно-дистрофические заболевания позвоночника находятся на первом месте среди ортопедических заболеваний позвоночника у пациентов пожилого и старческого возраста и по данным литературных источников составляют свыше 40%.

Нагрузки на позвоночно-двигательный сегмент определяются состоянием позвоночно-тазового баланса. Понятие позвоночно-тазового баланса ввела G.Duval-Beaupere, которая из анализа бароцентриметрических исследований получила выводы о закономерном изменении пространственной конфигурации таза и позвоночника, таким образом, чтобы координаты общего центра массы части тела над тазобедренным суставом были константными. Ось гравитации общего центра тяжести постоянно располагается несколько сзади от бикоксофemorальной оси. Позвоночно-тазовый баланс в вертикальном положении регулируется нервно-мышечным аппаратом, при этом обеспечивается минимизация работы мышц для поддержания вертикального положения, и зависит от параметров морфологии таза.

Из анализа литературы видно, что основные исследования позвоночно-тазового баланса уделяется именно в сагиттальной плоскости, потому что во фронтальной плоскости взаимоотношения таза и позвоночника сбалансированы, за исключением некоторых дегенеративных заболеваний или структурных изменений элементов позвоночного столба.

Преобладание стенотических заболеваний позвоночного столба в некоторых случаях могут потребовать оперативного вмешательства для проведения декомпрессивных и декомпрессивно-стабилизирующих операций.

Таким образом, целью нашего исследования является изучение корреляции параметров сагиттального позвоночно-тазового баланса и дегенеративных изменений нижне-поясничного позвоночно-двигательного сегмента у пациентов с хронической люмбалгией и люмбоишиалгией.

С этой целью предлагается исследование позвоночно-тазового сегмента позвоночника с помощью компьютерного моделирования, которое позволяет определить компоненты напряженно-деформированного состояния как полной биологической и биомеханической систем, так и отдельно рассмотренных элементов этих систем, что, в свою очередь, позволяет выбрать методику оперативного лечения.

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ БИОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ОСКОЛОЧНЫХ ТРАВМАХ ДИАФИЗАРНОЙ ЧАСТИ БОЛЬШЕБЕРЦОВОЙ КОСТИ

Веретельник О. В.¹, Ткачук Н. А.¹,

Шимон В. М.², Меклеш Ю. Ю.²

¹Национальный технический университет

«Харьковский политехнический институт», г. Харьков,

²Ужгородский национальный университет, г. Ужгород

В работе предлагаются результаты численного моделирования оперативного лечения ноги человека после проведения восстановительного оперативного вмешательства по объединению осколочного повреждения диафизарной части большеберцовой кости с применением внутренних фиксирующих конструкций.

Во время проведения исследований были рассмотрены три расчетные схемы, которые описывали интактную кость, и две – различные схемы разрушения диафизарной части большеберцовой кости.

Построенные трехмерные геометрические модели базировались на трехмерной геометрической модели правой ноги человека, описывающей интактное состояние костных тканей. Модель включала подвздошную, бедренную, большеберцовую и малоберцовую кости, а также суставные хрящи. Дополнительно модель была дополнена двумя элементами, для корректной передачи нагружения и закрепления. Последние две расчетные схемы включали систему фиксации осколков диафизарной части большеберцовой кости. При проведении моделирования восстановительного оперативного лечения, было предположено, что при осколочном повреждении образуются пустоты между осколками и остальной частью кости, которые предлагается заполнять пористым гидроксиапатитом.

В работе были определены численные значения максимальных эквивалентных напряжений и полных перемещений для элементов биологической и биомеханических систем, полученные с помощью метода конечных элементов. Данный метод наилучшим образом подходит для решения задач по проблематике, позволяющий описывать сложную и сверхсложную геометрическую форму элементов биологических и биомеханических систем, при этом позволяет учитывать резко различающиеся физико-механические свойства материалов исследуемых систем.

По итогам проведенных исследований был проведен сравнительный анализ полученных численных величин.

Для проведения оперативного лечения были сделаны рекомендации, которые учитывали результаты математического моделирования, на основании которых мы проводили введение стержней в кость.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ДИНАМИЧНОСТИ ПЕРСПЕКТИВНОГО ГУСЕНИЧНОГО МНОГОЦЕЛЕВОГО ТРАНСПОРТЕРА-ТЯГАЧА С БОРТОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ

Волонцевич Д.О., Веретенников Е.А., Ефремова А.И.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Электрические трансмиссии в последнее время находят все более широкое распространение не только в гражданской, но и в военной технике. Это связано с тем, что электрические трансмиссии для гусеничных машин позволяют обеспечить ряд преимуществ, указанных в [1].

Целью представленной работы является проведение сравнительного анализа динамических характеристик гусеничного многоцелевого транспортера-тягача МТ-ЛБ с двумя вариантами, рассмотренных в [1] электромеханических трансмиссий на основе тяговых электродвигателей EMRAX 348 (Словения) и M73 (Германия), и базовой машины.

В работе произведен рациональный выбор передаточных отношений одно и двухступенчатых планетарных бортовых передач с учетом необходимости сохранения всех элементов движителя и ходовой части базовой машины.

На основании расчетов, проведенных по методикам [2, 3] в работе сделаны выводы о том, что:

1. При наличии двухступенчатых бортовых планетарных передач для реализации заданных характеристик подвижности тягача МТ-ЛБ необходимо устанавливать минимум по одному двигателю М73 или по два двигателя EMRAX 348 на каждый борт машины.

2. При попытке ограничиться одноступенчатыми бортовыми планетарными передачами для реализации заданных характеристик подвижности тягача МТ-ЛБ необходимо устанавливать минимум по два двигателя М73 или по четыре двигателя EMRAX 348 на каждый борт машины.

3. Во всех вариантах применения электромеханической трансмиссии даже при сохранении скоростных показателей прямолинейного движения наблюдается значительное повышение характеристик общей подвижности и управляемости тягача за счет плавного изменения радиуса поворота и отсутствия необходимости снижения скорости в повороте.

Литература:

1. Волонцевич Д.О. Тяговый баланс перспективного гусеничного многоцелевого транспортера-тягача с бортовой электромеханической трансмиссией / Д.О. Волонцевич, Е.А. Веретенников, А.И. Ефремова, А.С. Яремченко, М.И. Прокопьев // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Транспортне машинобудування. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 5 (1227). – С. 162-167.

2. Теорія електроприводу транспортних засобів: підручник / А.В. Гнатов, Щ.В. Аргун, І.С. Трунова. – Х.: ХНАДУ, 2015. – 292 с.

3. Александров Е.Е. Тягово-скоростные характеристики быстроходных гусеничных и полноприводных колесных машин. / Е.Е. Александров, В.В. Епифанов, Н.Г. Медведев, А.В. Устиненко. – Харьков : НТУ "ХПИ", 2007. – 124 с.

К ВОПРОСУ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ШЕСТЕРЕНЧАТОГО НАСОСА ДЛЯ ГИДРОСТАТИЧЕСКОЙ БЛОКИРОВКИ МЕЖКОЛЕСНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛОВ ВОЕННЫХ КОЛЕСНЫХ МАШИН

Волонцевич Д.О., Веретенников Е.А., Мормило Я.М.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Проблема классических межколесных дифференциалов (МКД) повышенного трения состоит в том, что они имеют либо постоянный коэффициент блокировки, либо коэффициент блокировки, зависящий от нагрузки. Для получения высокой проходимости коэффициент блокировки должен быть достаточно большим, а для сохранения управляемости и устойчивости движения он должен быть минимальным и стремиться к единице [1].

Пути решения указанной проблемы могут лежать либо в области разработки электронных систем контроля тяги (Traction control system), либо в более глубокой проработке МКД с гидростатической блокировкой. Эти дифференциалы имеют наиболее благоприятную зависимость блокировочного момента от режима движения. Так, при небольшой разнице угловых скоростей колес момент трения у них близок к нулю и нет проблем при криволинейном движении машины; при буксовании же одного из колес момент трения резко возрастает и позволяет передать большую часть мощности на небуксующее колесо.

В работах [2, 3] авторами был поднят вопрос о формировании требований к МКД военных колесных машин на примере колесного бронетранспортера БТР-4 с точки зрения определения зоны нечувствительности самоблокирующихся МКД и расчета их нагрузочных режимов. Данная статья продолжает начатый цикл работ, посвященный этой теме. Целью представленной работы является определение параметров шестеренчатого насоса, используемого для гидростатической блокировки МКД колесного бронетранспортера БТР-4.

В представленной работе на основе классических зависимостей для шестеренчатых насосов рассчитаны размеры зубчатых колес внутреннего зацепления, которые позволят создать требуемый максимальный момент блокировки при полностью перекрытом дросселирующем отверстии, и сделан вывод о возможности построения на этой основе самоблокирующегося МКД для БТР-4.

Литература:

1. Andreev AF, Kabanau V, Vantsevich V. Driveline Systems of Ground Vehicles: Theory and Design. 2010. CRC Press (Series: Ground Vehicle Engineering).
2. Волонцевич Д.О. К вопросу определения зоны нечувствительности самоблокирующихся межколесных дифференциалов с коэффициентом блокировки, зависящим от скорости относительного вращения колес / Д.О. Волонцевич, Я.М. Мормило, // Механіка та машинобудування, – №1, – 2016. – С. 30–35.
3. Волонцевич Д.О. К вопросу определения нагрузочных режимов блокируемых и самоблокирующихся межколесных дифференциалов военных колесных машин / Д.О. Волонцевич, Я.М. Мормило, // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Транспортне машинобудування. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 14 (1236). – С. 175-179.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ДИНАМИЧНОСТИ ПЕРСПЕКТИВНОГО КОЛЕСНОГО БРОНЕТРАНСПОРТЕРА С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ

Волонцевич Д.О., Веретенников Е.А., Яремченко А.С.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Электрические трансмиссии в последнее время находят все более широкое распространение не только в гражданской, но и в военной технике. Это связано с тем, что электрические трансмиссии для военных колесных машин позволяют обеспечить ряд преимуществ, указанных в [1].

Целью представленной работы является проведение сравнительного анализа динамических характеристик колесного бронетранспортера БТР-4 с двумя вариантами, рассмотренных в [1] электромеханических трансмиссий на основе тяговых электродвигателей EMRAX 348 (Словения) и M73 (Германия), и базовой машины с гидродинамической трансмиссией.

В работе произведен рациональный выбор передаточных отношений одно и двухступенчатых планетарных колесных редукторов с учетом необходимости сохранения всех элементов колесного движителя базовой машины.

На основании расчетов, проведенных по методикам [2, 3] в работе сделаны выводы о том, что:

1. Электродвигатели EMRAX 348 независимо от места установки (внутри колеса или на корпусе машины) для получения конкурентоспособных динамических характеристик требуют двухступенчатых колесных редукторов с пониженным рядом для тяжелых дорожных условий.

2. Электродвигатели M73 по своим геометрическим и весовым характеристикам значительно сложнее komponуются в привод на основе мотор-колес. Для их применения предпочтительным является размещение внутри подпрессоренного корпуса бронетранспортера.

3. Электродвигатели M73 по своим тяговым возможностям допускают использование совместно с одноступенчатыми колесными редукторами.

Литература:

1. Волонцевич Д.О. Тяговый баланс перспективного колесного бронетранспортера с электромеханической трансмиссией / Д.О. Волонцевич, Е.А. Веретенников, Я.М. Мормило, А.С. Яремченко, В.О. Карпов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Транспортне машинобудування. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 5 (1227). – С. 168-173.
2. Теорія електроприводу транспортних засобів: підручник / А.В. Гнатов, Щ.В. Аргун, І.С. Трунова. – Х.: ХНАДУ, 2015. – 292 с.
3. Александров Е.Е. Тягово-скоростные характеристики быстроходных гусеничных и полноприводных колесных машин. / Е.Е. Александров, В.В. Епифанов, Н.Г. Медведев, А.В. Устиненко. – Харьков : НТУ "ХПИ", 2007. – 124 с.

РОЗРОБКА МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТАКТИКО-ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕГКОБРОНЬОВАНИХ МАШИН НА ОСНОВІ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Грабовський А. В.¹, Ткачук М. А.¹, Пелешко Є. В.², Шаталов О. Є.¹

¹Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут», м. Харків,

²ТОВ «БІР Україна», м. Одеса,

³НАСВ ім. гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів

Робота містить розв'язання актуальної і важливої науково-практичної задачі розробки методів і засобів забезпечення в процесі проектування заданих тактико-технічних характеристик (ТТХ) легкоброньованих бойових машин (ЛБМ) на основі аналізу напружено-деформованого стану (НДС) їхніх корпусів при дії зусиль від елементів підвіски і зусиль віддачі у процесі стрільби із скорострільних гармат. На основі розроблених підходів, методів і створеного програмно-модельного комплексу проведено багатоваріантний аналіз напружено-деформованого стану корпусів ЛБМ при дії динамічних та імпульсних навантажень, результати якого покладені в основу розробки рекомендацій з проектування корпусів низки ЛБМ. Створені методи автоматизованого аналізу і синтезу корпусів ЛБМ на базі розроблених спеціалізованих параметризованих інтегрованих моделей за критеріями міцності та жорсткості при впливі зусиль від підвіски при русі та віддачі під час стрільби, що забезпечує досягнення заданого рівня ТТХ рухливості, захищеності і озброєності проєктованих ЛБМ. Вперше запропонована комплексна модель, яка об'єднує фізичну, математичну, геометричну і чисельну моделі, яка, на відміну від раніше використовуваних, створюється на основі єдиного наскрізного параметричного опису. Створено математичну модель для опису динамічних процесів у корпусах ЛБМ при здійсненні пострілів, що відрізняються комплексним підходом до забезпечення заданого рівня ТТХ і орієнтацією на впровадження розроблюваних моделей в універсальні системи автоматизованого проектування типу Pro/ENGINEER (Creo). Створено сімейство параметризованих інтегрованих моделей корпусів БТР-80, БТР-3Е, БТР-4, Дозор, БМП-2, БМП-3, БРДМ, МТ-ЛБ, які принципово відрізняються єдиним підходом до їх створення, єдиною технологією їх дослідження в середовищі CAD/CAE-систем. Їх застосування дає можливість різко скоротити терміни дослідження НДС у корпусах ЛБМ при русі та стрільбі на ранніх етапах проектування.

Створений спеціалізований програмно-модельний комплекс відрізняється властивостями гнучкості, переналагоджуваності, доповнюваності інтегрованих моделей і носить характер досить універсального інструменту для обґрунтування проектних рішень і забезпечення заданих ТТХ. Розроблені із застосуванням методів, алгоритмів і програмно-модельного комплексу практичні рекомендації дають можливість при проектуванні ЛБМ забезпечувати складові ТТХ: за точністю стрільби, за масою, за швидкістю руху, за швидкістю на плаву, за бронезахищеністю тощо.

АНАЛИЗ ПРОЧНОСТНЫХ И ЖЕСТКОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОРПУСА БРОНЕТРАНСПОРТЕРА ПРИ ДЕЙСТВИИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ НАГРУЗКИ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ И БОЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ

**Грабовский А. В.¹, Ткачук Н. А.¹, Ткачук Н. Н.¹, Набоков А. В.¹,
Малакей А. Н.², Шейко А. И.²**

**¹Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
²ГП «Завод имени В. А. Малышева», г. Харьков**

При исследовании напряженно-деформированного состояния корпусов бронетранспортеров необходимо проанализировать наиболее типичные и экстремальные режимы нагружения их корпусов. Корпус воспринимает дополнительную нагрузку от установленных новых агрегатов и систем, в т. ч. двигателя и башни боевого модуля. При этом возрастает как статическая составляющая нагрузки, так ее динамическая и импульсная составляющие. Можно выделить следующие характерные варианты нагружения: 1) производство выстрелов из высокоимпульсного оружия (скорострельная пушка); 2) статическая нагрузка при реализации различного опирания, в том числе частичного (например, "вывешивание" по диагонально расположенным колесам); 3) преодоление неровностей рельефа (различного профиля и высоты); 4) собственные колебания корпуса (данный вариант интересен, например, при исследовании свободных колебаний корпуса или влияния возбуждающих нагрузок различной частоты).

Производство выстрелов является одним из источников импульсной высокочастотной нагрузки на корпус бронетранспортера. Для расчета прочности корпуса БТР использована конечно-элементная модель, дополненная усилиями, распределенными по зависимости, получаемой в ходе анализа динамических процессов с системе «боевой модуль–корпус–подвеска». Нагрузка от выстрела передается на погон при помощи вспомогательного устройства, имитирующего башню БТР. Точка приложения усилия сосредоточена в оси цапф, нагрузка от подвески – в местах ее крепления к бронекорпусу.

В процессе проведения исследований варьировались углы стрельбы, а также варианты конструктивного ужесточения подбашенного листа, профиль местности и условия движения. Получены картины, характеризующие напряженно-деформированное состояние корпуса. Распределение характеристик напряженно-деформированного состояния зависит от множества факторов. При этом характер динамических процессов определяется соотношением, с одной стороны, динамических характеристик бронекорпуса, а с другой – внешнего воздействия.

Таким образом, задача проектных исследований – разработать рекомендации по обоснованию таких параметров, которые обеспечивают прочность и жесткость бронекорпуса в процессе движения и производства выстрелов, – получила методологическую основу для своего решения.

ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ВІДЕО НА ОСНОВІ ТРИВИМІРНИХ МОДЕЛЕЙ ТА СЦЕН

Долуда Т.В., Вус С.М., Глібко О. А.

Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут», м. Харків

Актуальність роботи обумовлена широким попитом на тривимірну віртуальну продукцію у різних сферах. Поряд з тим на сучасному ринку програмних продуктів, призначених для створення реалістичної тривимірної реальності, існує широкий спектр різноманітних пакетів. В даній роботі розглянуто процес створення відеоролика, що містить сцену та персонажа, із застосуванням 3D програм різного спрямування згідно за призначенням.

Для реалізації поставленої мети було виконано огляд сучасного ринку програм для створення тривимірної графіки та анімації, запропоновано їх умовну класифікацію, зроблений порівняльний аналіз їх можливостей.

Умовно всі програми створення тривимірної графіки можна поділити на чотири групи:

- універсальні 3D редактори (Cinema 4D, 3Ds Max, Maya, Houdini);
- програми для цифрового скульптинга (Pixologic ZBrush, Autodesk Mudbox);
- вузькоспеціалізовані додатки, створені під рішення конкретних завдань (анімація рідин – RealFlow, створення текстур – Mari та ін.);
- ігрові движки (Unreal Engine, Unity, CryEngine).

У якості об'єкта проектування було обрано сучасний популярний вид інтелектуальної командної розваги – квест-кімната. Логотипом квест-кімнати обрано назву «MAZE», що в перекладі з англійської, означає «лабіринт». Створено пакет іміджевої рекламної продукції, однією зі складових якого і був рекламний тривимірний ролик, що містить модель будови, її інтер'єр та модель персонажа. Модель будівлі та її інтер'єр створено згідно с сюжетною тематикою самого квесту і виконано з використанням античних та готичних елементів, зокрема амфор, факелів, зброї, настінних розеток тощо. Референсом персонажу відповідно було обрано зображення дівчини із античним мечем на зразок давньогрецького ксифосу або давньоримського гладіусу.

У результаті роботи вироблена певна стратегія, що передбачає свідоме застосування пакету різноманітних програм тривимірної графіки на кожному етапі вирішення досить складної та трудомісткої задачі:

- 3Ds Max для моделювання інтер'єру і екстер'єру сцени;
- ZBrush для створення моделі персонажа;
- Maya для створення скелета персонажа і подальшої анімації;
- Marvellous Designer для моделювання одягу;
- Substance Painter для створення текстур;
- Unreal Engine для роботи зі спецефектами і процесу рендера.

Обраний комплект 3D програм може бути використаний, зокрема, при розробці віртуальної продукції рекламного спрямування та при розробці комп'ютерних ігор.

СТЕНД ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МАГНІТОРЕОЛОГІЧНИХ ЕЛАСТОМЕРІВ

Дущенко В.В., Маслієв А.О

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Актуальною проблемою є впровадження керування характеристиками підвіски транспортних засобів (ТЗ) з метою підвищення показників їх рухливості. Одним з напрямків вирішення даної проблеми є застосування альтернативних матеріалів та нетрадиційних технічних рішень вузлів підвіски, а саме «інтелектуальних» матеріалів - магнітореологічних еластомерів (МРЕ), характеристики жорсткості та демпфірування яких можна змінювати за допомогою керуючого магнітного поля. На цей час практично відсутні експериментальні дані досліджень зі зміни модуля пружності і модуля втрат МРЕ при застосуванні у вузлах підвіски транспортних засобів, що унеможлиблює отримання вірогідних розрахункових результатів для практичного застосування.

Проведено аналіз відомих стендів для досліджень механічних властивостей МРЕ. Недоліками стендів є те, що вони унеможлиблюють проведення широкого спектру досліджень, тобто деформацій стискання-розтягування та зсуву зразків під дією магнітного поля. Також, для досягнення максимального ефекту від впливу магнітного поля на механічні властивості МРЕ, вектор індукції повинен співпадати з напрямком деформації, що неможливо реалізувати на розглянутих стендах.

Метою роботи є створення стенду, що позбавлений згаданих недоліків, тобто має підвищену точність для експериментального дослідження впливу магнітного поля на характеристики жорсткості і демпфірування втулок з МРЕ пружних шарнірів підвіски ТЗ, що дозволить перевірити вірогідність математичних моделей процесів, що досліджуються та у подальшому розробити працездатні технічні рішення вузлів з керованими характеристиками.

При розробці стенду передбачено виключення впливу сторонніх факторів, зокрема таких, як сила тяжіння та втрати магнітного потоку. Напрямок вектора індукції магнітного поля при створенні зразка із МРЕ співпадає із напрямком індукції при дослідженнях в умовах стенду, а також із напрямком деформації, що суттєво відрізняє даний стенд від відомих аналогів. Із зразків, які досліджуються та феромагнітних матеріалів створено магнітний ланцюг без повітряних зазорів, що забезпечило необхідну величину індукції магнітного поля у зразках із МРЕ. Розроблено вимірювальний комплекс для реєстрації сил та деформацій зразків із використанням тензометрії та сучасних мікропроцесорних технологій. За результатами проведених досліджень подано заявку щодо отримання Патенту України на корисну модель.

АНАЛІЗ ДИНАМІЧНИХ СПОТВОРЕНЬ ЦИФРОВИХ ФОТО

Зінченко О. І.¹, Бондаренко О. В.¹, Зінченко Т. В.²

¹*Національний технічний університет*

«Харківський політехнічний інститут»,

²*Харківський національний університет міського господарства*

ім. О. М. Бекетова,

м. Харків

З появою мобільних телефонів, які мають фотокамери, зросла кількість фотографій, зроблених в умовах руху – зображення або фотографа. На таких фото дуже помітні певні спотворення, що полягають у нахилах вертикальних ліній, розмиванні країв контурних ліній тощо.

Метою роботи є визначення таких спотворень і кількісна оцінка їх на основі простих геометричних моделей лінзи.

В ході виконання роботи були проведені деякі експерименти з фотографуванням рухомих об'єктів: під час руху електрички, рухомих табло, автомобілів. На багатьох фото цілком помітні значні спотворення.

Природа цих спотворень пов'язана з малою швидкістю запису зображень: поки верхня частина записується на карту пам'яті, нижня встигає дещо переміститися в просторі.

Для досягнення поставленої мети нами розглянуті геометричні співвідношення для звичайної лінзи: основне рівняння лінзи та деякі наслідки з нього.

Найпростіші спотворення зображення – статичні – пов'язані з перспективою. Вони можуть бути корисними для визначення відстані до об'єктів на основі відомої висоти орієнтирів. *Статичні* спотворення перспективи можна сформулювати так: що ближче об'єкт до лінзи, то більше його зображення.

Більш складними є спотворення динамічні – пов'язані з рухом камери або об'єкту. Для їхньої числової оцінки було визначено розмір фотоматриці, встановлений зв'язок між рухом об'єкта та його зображенням. Динамічні спотворення мобільних фото можна використати для визначення швидкості руху зображення.

Фотографування велося досить досконалою фотокамерою, що має режим авто фокусу, автоматичне визначення експозиції та якісний об'єктив. А все таки спотворення зображень виявляються дуже значними. Тим більшими вони будуть в разі застосування більш простих мобільних фотокамер.

В роботі вдалося знайти певні способи покращення зображень – відповідна орієнтація камери (вертикальна або навіть перевернута).

Якщо застосовувати любительські цифрові камери, то динамічних спотворень фотографій майже не помітно. Це є наслідком значно більшої швидкості зчитування інформації з матриць, внаслідок чого зображення не встигає суттєво зміститися, навіть якщо воно рухається. Важливо лише, щоб фотокамера сама була нерухомою в момент зйомки.

ВЕКТОРНИЙ АНАЛІЗ У ЗАДАЧАХ НЕБЕСНОЇ МЕХАНІКИ

Зінченко О. І.¹, Кротенко Г. А.¹, Зінченко Т. В.²

¹*Національний технічний університет*

«Харківський політехнічний інститут»,

²*Харківський національний університет міського господарства*

ім. О. М. Бекетова,

м. Харків

Переважає більшість найбільш ефективних засобів і методів теоретичного дослідження "генетично" пов'язані із завданнями небесної механіки.

Одним з найважливіших астродинамічних завдань, без якого неможливе рішення усіх інших завдань астрономії, є визначення положення небесного світила на небесній сфері.

Мета роботи – розв'язок деяких задач небесної механіки шляхом застосування дій з векторами.

Такий шлях здається досить цікавим, особливо враховуючи те, що елементи сферичної геометрії, які зазвичай застосовуються, важко зобразити на папері. Звідси виникають певні труднощі в розумінні основних геометричних побудов та доведенні теорем. Їх можна значною мірою уникнути, якщо застосувати вектори.

У астрономії немає єдиного універсального способу визначення відстаней. Переходячи від близьких небесних тіл до більш далеких одні методи визначення відстаней змінюють інші, що застосовуються, як правило, основою для наступних. Точність оцінки відстаней обмежується або точністю найгрубішого з методів, або точністю виміру астрономічної одиниці довжини (а. о.).

Висота Сонця – це кут, під яким його видно над горизонтом. Висота Сонця (α) пов'язана з широтою (L) місця спостереження, сонячним схиленням (δ_s) та кутовим сонячним часом (h_s) рівнянням сферичної геометрії: $\sin \alpha = \sin L \cdot \sin \delta_s + \cos L \cdot \cos \delta_s \cdot \cosh_s$. На відміну від цієї відомої формули були одержані вирази, що базуються на загальних властивостях скалярного добутку векторів. Перевірена справедливість одержаних виразів чисельно.

Можливо, що такий спосіб спрощення задач сферичної геометрії має переваги над традиційним використанням готових формул.

ЦІЛЬОВА ФУНКЦІЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ТРАНСМІСІЇ ГУСЕНИЧНОГО ТРАНСПОРТЕРА-ТЯГАЧА МТ-ЛБ ЗА МАСОЮ

Клочков І. Є., Бондаренко О. В., Устиненко О. В., Браславська Т. С.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Одна із найбільш поширених в Україні військових гусеничних машин – легкий багатоцільовий гусеничний транспортер-тягач МТ-ЛБ. За останні роки запропоновано багато варіантів його модернізації. При цьому виникає проблема перевантаження його трансмісії, але підвищення її навантажувальної здатності шляхом збільшення габаритів практично неможливо. Причиною цього є обмеженість існуючих габаритів моторно-трансмісійного відділення машини.

Вихід полягає в оптимальному проектуванні за масою нової трансмісії при забезпеченні її навантажувальної здатності, довговічності та вимоги розміщення в існуюче моторно-трансмісійне відділення.

Авторами побудовано цільову функцію у наступному вигляді:

$$F_M = \sum M = \sum_{i=1}^2 M_{ЗКГП_i} + M_{ВГП} + \sum_{i=1}^{n_{ЗКП}} M_{ЗКП_i} + \sum_{i=1}^2 M_{ВКП_i} + \sum_{i=1}^{n_{СКП}} M_{СКП_i} + 2 \sum_{i=1}^2 M_{ЗКДР_i} +$$

$$+ 2M_{ВФ} + 2M_{ФГ} + 2 \sum_{i=1}^{n_{ЗКСР}} M_{ЗКСР_i} + 2 \sum_{i=1}^{n_{ВСР}} M_{ВСР_i} + 2M_{ВДСР} + 2M_{КВ} + 2M_{ЗГ} +$$

$$+ 2 \sum_{i=1}^{n_{ЗБП}} M_{ЗБП_i} + 2 \sum_{i=1}^{n_{ВБП}} M_{ВБП_i} + 2M_{ВДБП} + \sum_{i=1}^{n_{П}} M_{П_i} + M_{КМПП} + 2M_{КБП} \rightarrow \min,$$

де $\sum M$ (кол гп) і $M_{ВГП}$ – маса коліс і валу ГП; $\sum_{i=1}^{n_{ЗКП}} M_{ЗКП_i}$, $\sum_{i=1}^2 M_{ВКП_i}$ і $\sum_{i=1}^{n_{СКП}} M_{СКП_i}$

– маса коліс, валів і синхронізаторів КП; $\sum M$ (кол др) – маса коліс ДР;

$2M_{ВФ}$ $\sum M$ (вал гп) – маса валів фрикціонів МПП; $\sum M$ (фрик) – маса фрикціонів

та гальм МПП; $2 \sum_{i=1}^{n_{ЗКСР}} M_{ЗКСР_i}$, $2 \sum_{i=1}^{n_{ВСР}} M_{ВСР_i}$ і $2M_{ВДСР}$ – маса коліс, валів і

водил СР; $\sum M$ (вал пр) $\sum M$ (вод) $2M_{КВ}$ – маса карданних валів; $\sum M$ (торм кп) –

маса зупиночних гальм; $\sum M$ (кол бп) $2 \sum_{i=1}^{n_{ВБП}} M_{ВБП_i}$ і $2M_{ВДБП}$ – маса коліс, валів і водил

БП; $\sum M$ (подш) – маса підшипників трансмісії; M (карт) і $2M_{КБП}$ – маса картеру МПП і картерів БП.

У подальшому планується обрання методів розв'язання задачі оптимізації, побудова прикладних методик і алгоритмів, виконання тестових і перевірочних розрахунків щодо підтвердження та оцінки отриманих теоретичних результатів.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ КОЛІСНОЇ МАШИНИ, ОСНАЩЕНОЮ ГІДРООБ'ЄМНОЮ ПЕРЕДАЧЕЮ

Кожушко А.П., Артеменко І.О.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків*

В роботі наведено альтернативна схема конструкції трансмісії всесезонної комунальної машини, яка складається з гідроб'ємної передачі (регульованого гідронасос та нерегульованого гідромотору), циліндричного редуктора та головної передачі. Основною модернізацією даної машини є відмова від використання закордонних гідромашин, які в процесі відмови несуть великі витрати в ремонті, та впровадженні вітчизняних гідромашин виробництва ВАТ «Гідросила». При проведенні тягового розрахунку, визначені оптимальні значення робочих обсягів, тисків і швидкісних характеристик, і на їх основі обрані гідромашини відповідної марки. Встановлення додатково двох мостів з диференціалами декілька збільшила загальну вагу машини, а також збільшила витрати на обслуговування цих агрегатів, але в цілому незначно вплинула на технологічні показники автомобіля, зменшивши при цьому його вартість.

Після визначення робочих тисків та об'ємів ми обираємо наступні гідромашини:

- 1) для приводу гідромоторів обираємо насос ГСТ 112 з робочим об'ємом $110,8 \text{ см}^3$, номінальною частотою обертання 2500 об/хв.;
- 2) для приводу коліс обираються гідромотори ГСТ 112 з робочим об'ємом $110,8 \text{ см}^3$, номінальною частотою обертання 2500 об/хв.

При аналізі кінематичних, силових та енергетичних показників модернізованої схеми постала нова проблема, а саме вибору зміни параметру регулювання гідромашини. Динамічні та техніко-економічні показники

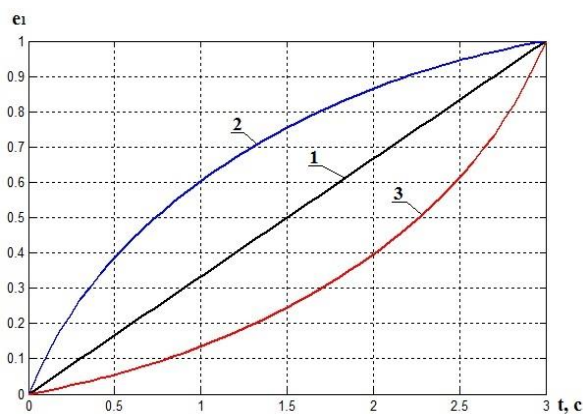


Рисунок 1 – Залежність параметру регулювання гідронасосу від часу розгону:

- 1 – лінійний характер; 2 – випуклий характер; 3 – вигнутий характер

напряму залежать від характеру зміни параметру регулювання гідронасосу. Таким чином, в роботі запропоновано дослідити три варіанта характеру зміни параметру регулювання гідромашини від часу розгону – це за випуклою, лінійною та вигнутою характеристиками (рис. 1). В процесі дослідження встановлено, що найбільш ефективним характером зміни параметру регулювання гідронасосу в процесі розгону є вигнутий, адже показник прискорення автомобіля реалізується на всій ділянці розгону.

Окрім того, встановлено, що шлях розгону для випуклої характеристики дорівнює 19,8 м; для лінійної – 14,7 м; для вигнутої – 9,1 м, що також підкреслює ефективність застосування вигнутої характеристики.

КОНСТРУКТОР САЙТУ ЯК АЛЬТЕРНАТИВА СУЧАСНІЙ CMS

Коноваленко О.Є.¹, Брусенцев В.О.²

¹*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,*

²*Харківська державна академія культури,
м. Харків*

Конструктор сайтів – спеціалізований онлайн-сервіс, що дозволяє створювати і управляти сайтами не маючи знань в області програмування і веб-дизайну. Основними перевагами таких платформ безумовно є – швидкість і простота розробки.

Принцип роботи зводиться до візуального пересування (перетягування) елементів сайту так, як цього забажає веб-розробник. Такі можливості досягаються залученням сучасних drag&drop редакторів, що кардинально спрощує розробку веб-сайтів.

Загальні характеристики конструкторів сайтів включають:

- доступність і простота;
- SaaS (Site as a Service, сайт як сервіс);
- швидкість розробки сайту;
- вартість розробки сайту;
- можливість ризику прагне до нуля.

Традиційні системи управління контентом (CMS) розроблялися переважно з прицілом на масштабування й управління великими ресурсами, практично всі конструктори сайтів призначені для створення і керування невеликими веб-проектами. Таким чином, їх можна рекомендувати для використання представникам малого бізнесу і просто користувачам, які хотіли б швидко створити невеликий сайт для особистих потреб на українському ринку.

Більшість клієнтів конструкторів це початківці веб-майстри з обмеженим бюджетом або зовсім без нього. Не маючи достатніх знань, щоб використовувати стандартні CMS і хостинг, ці користувачі потребують готового сайту вже зараз і не готові чекати. Всім цим вимогам повною мірою відповідають сучасні сайтобудівні платформи.

Існують універсальні конструктори, де можна створити будь-який сайт, а є вузькоспеціалізовані, заточені під створення лендінгу або магазину. Практика показує, що вузькоспеціалізовані конструктори краще справляються зі своїм завданням, але це не є правилом.

Можна з упевненістю сказати що одного найкращого і ідеального конструктора сайтів не існує. У всіх конструкторів є власні переваги і недоліки. Тому не рекомендується використовувати конструктор сайта як основу для створення потенційного складного веб-проекту, який планується масштабувати і розвивати в майбутньому. Також такі платформи не зовсім підходять для створення інтернет-магазинів із каталогом товарів більш ніж на кілька десятків позицій.

ОДИН ИЗ ПУТЕЙ СНИЖЕНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА ПРИ ДВИЖЕНИИ АВТОМОБИЛЯ ПО ГОРОДСКОМУ ЦИКЛУ

Литвин С.Н.
ООО «Мотортех»,
г. Первомайск

На расход топлива автомобиля значительное влияние имеет значение, по какому ездовому циклу движется автомобиль. «Городской» цикл движения автомобиля наименее экономичный и имеет свои характерные особенности. При городской езде происходит частая смена скорости движения, имеют место интенсивные разгоны и торможения, автомобиль останавливается или простаивает на запрещающих сигналах светофора (или регулировщика) и при проезде перекрестков, в «пробках» и т.д. В «городском» цикле преобладают короткие поездки, и, как правило, двигатель не успевает прогреться до рабочей температуры. Движение в «городском» цикле сопровождается, как правило, пониженными скоростями (от 0 до 50 км/ч.), пониженными передачами и, как правило, повышенными оборотами двигателя. Несмотря на то, что современные двигатели, при использовании современных моторных масел не очень требовательны к полному прогреву, тем не менее, движение, при пониженных температурах двигателя, сопровождается повышенным расходом топлива. Это связано с повышенными тепловыми потерями и ухудшением механического КПД двигателя при работе на пониженных температурах. В силу описанных особенностей при движении по «городскому» циклу имеет место повышенный, на 25 ... 40%, расход топлива.

На основании выше изложенного можно сделать следующие выводы:

1. При движении по «городскому» циклу имеет место повышенный, на 25 ... 40%, расход топлива.
2. Сократить время прогрева, и обеспечить оптимальный тепловой режим двигателя, возможно за счет применения тепловых аккумуляторов.
3. Рассеивание тепла должны выполнять специальные устройства, включающиеся в работу только после полного прогрева двигателя.
4. Применение теплового аккумулятора расширит временной диапазон остывания двигателя между его пусками и повысит эффективность его использования при сокращении расстояния между остановками и увеличении времени между поездками.
5. Пополнение энергией теплового аккумулятора необходимо выполнять только за счет утилизации излишков теплоты с системы охлаждения.
6. Применение теплового аккумулятора потребует незначительного увеличения поверхностей тепло рассеивающих устройств двигателя и соответствующего увеличения массы автомобиля, в том числе и за счет массы теплового аккумулятора и дополнительной теплоизоляции двигателя.
7. Применение теплового аккумулятора потребует усложнения систем охлаждения и смазки в связи с введением дополнительных регулирующих устройств (термостатов и автоматических регулирующих клапанов).

ОПТИМІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЮ СИСТЕМОЮ НАХИЛУ КУЗОВА ШВИДКІСНИХ ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ

Любарський Б.Г., Нурієв Р.Ш., Єрціян Б.Х., Якунін Д.І.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Електропоїзди з нахиляються кузовами є найменш витратною технологією для створення швидкісного руху на існуючих залізничних лініях. В даний час такі поїзди експлуатуються в багатьох країнах світу, включаючи Австралію, Німеччину, Іспанію, Італію, Канаду, Китай, Норвегію, Португалію, Словенію, США, Фінляндії, Франції, Швейцарії, Швеції та Японії. В якості приводу систем нахилу кузовів цих поїздів використовуються гідравлічні, пневматичні та електромеханічні системи. Гідравлічна система залежить від погодних умов, екологічно недосконала через можливість витоків, її конструкція, експлуатація і ремонт відносно складні; пневматична система не забезпечує належного швидкодії; електромеханічна система, будучи найбільш перспективною, не забезпечує належного рівня безпеки руху через відсутність самоповернення механізму нахилу. На кафедрі електричного транспорту та тепловозобудування НТУ «ХПІ» розроблена система нахилу кузова на основі лінійного двигуна, встановленого в систему коліскового підвішування вагона. Така система дозволяє підвищити ККД приводу, так як не має в своєму складі редукторів і має можливість самоповернення, успадкованої від коліскового підвішування.

Важливим елементом системи нахилу кузова є блок управління напівпровідником перетворювачем енергії – прямо ходовим конвертором, яких забезпечує підтримання швидкісних, прискорювальних та кутових вимог при процесі повороту кузова та його повертання у початкове положення. На режими роботи напівпровідникового перетворювача впливає також електромагнітні властивості електромеханічного перетворювача, а також механічна частина системи нахилу, яка безпосереднє зв'язана з кузовом та ходовою частиною рухомого складу, що рухається у кривих ділянках колії та отримує додаткове центр обіжне прискорення.

В роботі пропонується проводити оптимізацію роботи системи нахилу кузова на підставі розробки оптимальної швидкісної траєкторії руху кузова методом Гамільтона-Якобі-Беллмана. За результатами розрахунку оптимальної швидкісної траєкторії руху, з урахуванням швидкісних обмежень створюється база даних, яка дозволяє визначати оптимальні траєкторії при різних початкових кутах нахилу та швидкостях, що потрібно при руху потягу зі змінною швидкістю та у перехідних кривих.

На підставі отриманих оптимальних траєкторій синтезується модальний та фазі-пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор швидкості, що забезпечує підтримання оптимальної швидкісної траєкторії при виводкових змінах навантаження викликаних зовнішнім впливом на ходову частину та кузов електропоїзду.

АНАЛІЗ РЕАКЦІЇ ЗАХИСНИХ ЕКРАНІВ НА ДІЮ КУМУЛЯТИВНИХ БОЄПРИПАСІВ

Мазур І.В.¹, Гречко І.Л.¹, Грабовський А.В.², Ткачук М.А.², Головін А.М.²

¹ДП «ХКБМ ім. О.О. Морозова»,

²Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут», м. Харків

На сьогодні різко зріс інтерес до підвищення ефективності решітчастих екранів (РЕ) для легкоброньованих машин (ЛБМ) від дії кумулятивних боєприпасів (КБ). Це обумовлено, зокрема, широким застосуванням такого типу боєприпасів у ході бойових дій у східних областях України. Для захисту від дії такого небезпечного уражаючого засобу як кумулятивні гранати знайшли широке застосування різні види захисних екранів. При цьому застосовуються різні підходи, методи і моделі: від статистичних моделей умов зустрічі боєприпасу з екраном, що базуються на чисто геометричному аналізі проходження/непроходження ґратки екрану КБ, до аналізу процесів взаємодії кумулятивного струменя з екраном або бронееlementом. Мова натеper іде про застосування цілого спектру КБ, що мають різний калібр, початкову швидкість метання, різне конструктивне виконання тощо. Те ж саме можна стверджувати щодо захисних екранів: у них спостерігається найрізноманітніші конструктивні виконання, розміри та властивості матеріалів. Таким чином, виникає не одинична задача обґрунтування певного РЕ від певного боєприпасу для певної ЛБМ, а, навпаки, – аналіз дії спектра КБ на РЕ різного виду виконання, встановлені на різноманітні ЛБМ. Отже, особливої актуальності набуває задача розробки підходів, методів і моделей для варіативного аналізу результатів взаємодії КБ із РЕ ЛБМ. Це складає мету роботи.

КБ володіє декількома видами впливів на бронезахист, серед яких можна виділити динамічний, фугасний і кумулятивний. Найбільш небезпечний – третій – обумовлюється висококонцентрованою спрямованою дією кумулятивного струменя, утвореного спеціальним сценарієм підриву боєзаряду і формою його передньої частини. Основними способами зниження ефективності КБ при дії на ЛБМ є: створення умов неспрацьовування заряду, запобігання утворенню повноцінного кумулятивного струменя шляхом часткового або повного руйнування КБ, відхилення КБ від вихідної траєкторії, відхилення кумулятивного струменя від небезпечного для бронеперешкоди напрямку тощо. При цьому, як зазначалося, слід промодельовувати багато варіантів взаємодії КБ із РЕ. Їх можна описати за допомогою варіюваних: 1) структури РЕ; 2) властивостей матеріалів РЕ; 3) геометричних розмірів ґратки РЕ; 4) типів КБ; 5) умов зустрічі КБ з РЕ. Відповідно, при моделюванні процесу і результату взаємодії КБ із РЕ необхідно мати математичні і чисельні моделі, які володіють можливостями: 1) адекватно відображати протікаючі процеси; 2) варіювати перераховані вище групи параметрів 1)–5). В основі створюваної для цих цілей комплексної моделі лежать основні співвідношення фізики вибуху, механіки суцільного середовища, методу скінченних елементів і узагальненого параметричного моделювання.

ВИКОРИСТАННЯ МІНІМІЗОВАНИХ ТАБЛИЦЬ ФУНКЦІЙ НЕСПРАВНОСТІ ДЛЯ ПРОГРАМНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ АЛГОРИТМУ ДІАГНОСТИКИ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПУСКУ ТА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СУЧАСНИХ ТАНКІВ

Макогон О.А., Чечик Д.І., Кучеренко І.В., Мельник М.В.

Військовий інститут танкових військ НТУ «ХПІ»,

м. Харків

Традиційні методи діагностики зазвичай містять в собі методики використання принципів і монтажних схем та зведених в певну систему можливих несправностей і неполадок (діагностичних таблиць). Внаслідок достатнього ускладнення схемних і конструктивних рішень складних електротехнічних систем озброєння і систем електрообладнання ці методи діагностування є малоефективними [1]. Алгоритм діагностування – це кількість, послідовність проведення перевірок і правила аналізу їх результатів. Оптимізація алгоритму діагностування полягає в тому, щоб обрати мінімальну або близьку до мінімальної кількість перевірок, послідовність здійснення вимагає найменших витрат праці на їх реалізацію [2].

У доповіді розглядається методика побудови алгоритму пошуку несправностей системи електропуску сучасних танків на основі складання таблиці функцій відмов несправності (ТФН) та перетворення її в мінімізовану таблицю функцій несправності (МТФН). За функціонально-логічною моделлю системи електропуску як об'єкта діагностування була визначена множина елементарних перевірок та глибина пошуку несправностей. При побудованні діагностичної моделі не враховувалися такі деталі як конструкція, маса, габаритні розміри елементів системи електропуску танка та фізичні параметри вхідних впливів й вихідних реакцій. Множина технічних станів була визначена з урахуванням режимів роботи системи електропуску та особливостей експлуатації бойових машин в сучасних умовах. Усі несправності вважалися однократними. Також було зроблено припущення, що ймовірність появи в системі поодиноких дефектів значно вища за ймовірність одночасної появи двох і більше дефектів. Як окремі функціональні елементи системи були визначені стартер-генератор, реле-регулятор, реле РСГ-10М, пускова апаратура, акумуляторні батареї, запобіжник, АЗР, вольтамперметр, розетка зовнішнього пуску, реле часу, кнопка стартера. Після отримання МТФН була визначена мінімальна сукупність діагностичних параметрів для перевірки працездатності системи електропуску танка та складений алгоритм пошуку дефекту в системі послідовним методом та за гнучкою програмою. В подальшому планується використовувати результати МТФН для побудови дешифратора технічного стану системи за допомогою пристрою автоматичного контролю та пошуку несправностей та збільшити глибину діагнозу.

Література:

1. Электрооборудование танков. – М., 1972. – 555 с.
2. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения – М.: Академия, 2003. – 464 с.

**ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ
В ЛЕГКОБРОНИРОВАННЫХ МАШИНАХ**
Малакей А. Н.¹, Ткачук А. В.², Грабовский А. В.²

¹*ГП «Завод имени В. А. Малышева»,*

²*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», г. Харьков*

Известно, что для современного состояния мирового рынка бронетанковой техники (БТТ) характерной особенностью является рост удельного веса рынка легкобронированных машин (ЛБМ). Это объясняется значительным повышением уровня возможностей высокоточного оружия в борьбе с тяжелой БТТ на поле боя, отсутствием широкомасштабных вооруженных конфликтов с необходимостью массового применения танков, а также значительным распространением ЛБМ, для которых характерны высокая маневренность, относительно низкая стоимость, приспособленность к условиям применения в региональных конфликтах и антитеррористических операциях. Целью работы является обеспечение высоких тактико-технических характеристик (ТТХ) легкобронированных машин при проектировании и модернизации путем исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) их корпусов при повышенных нагрузках и выбора на этой основе схем усиления корпусов и рациональных конструктивных параметров, которые обеспечивают необходимый уровень прочности и жесткости.

Для исследования напряженно-деформированного состояния корпусных элементов боевых машин, определяющих их работоспособность и обеспечение возможности повышения ТТХ ЛБМ, осуществлены следующие шаги: разработана общая структура исследования НДС корпусных элементов колесных ЛБМ при действии сложной системы внешних статических, динамических и импульсных сил; получил дальнейшее развитие метод комплексного функционального математического моделирования возмущенного движения колесной ЛБМ как сложной механической системы и определения на этой основе нагрузок на ее корпус; разработаны интегрированная схема и методы построения конечно-элементных моделей колесных ЛБМ в режиме реального времени параллельно с проведением проектных работ и технологической подготовки производства; разработано семейство параметризованных конечно-элементных моделей корпусов бронетранспортеров БТР-70, БТР-80, БТР-3Е для исследования их прочности и жесткости с принципиально новыми характеристиками.

На основе проведенных исследований в боевых машинах обеспечивается достаточная прочность и жесткость корпусов. В ходе исследований, в частности, предложены общие методы выбора рациональных параметров конструкции корпусов ЛБМ; разработан способ объединения универсальных САД-систем и специализированных систем с целью построения конечно-элементных моделей корпусов бронетранспортеров; сформирована общая постановка задачи определения силового воздействия на элементы сложных механических систем при помощи моделирования силовых потоков и кинематических процессов. В итоге создана основа для проведения комплексных исследований с целью обеспечения повышенных ТТХ ЛБМ.

РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ АНАЛІЗУ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ СКЛАДНОПРОФІЛЬНИХ ТІЛ ТА СИНТЕЗУ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ КОНТАКТУЮЧИХ ПОВЕРХОНЬ

**Мартиненко О. В.¹, Лавриненко С. М.¹, Ткачук М. М.¹, Грабовський А. В.¹,
Іщенко О. А.², Дьоміна Н. А.², Назарова О. П.²**

¹Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут», м. Харків,

**²Таврійський державний агротехнологічний університет,
м. Мелітополь**

Для складнопрофільних тіл (СПТ) з урахуванням властивостей нелінійно пружного проміжного шару доцільно об'єднати в рамках єдиного підходу аналіз напружено-деформованого стану (НДС) з урахуванням контактної взаємодії та геометричний синтез. Загальний підхід до розв'язання зв'язаної задачі для СПТ з урахуванням властивостей нелінійно пружного проміжного шару передбачає проведення великої кількості багатоваріантних розрахунків. Для проведення подібної серії досліджень необхідні ефективні методи синтезу і аналізу, які б одночасно забезпечували належну точність і володіли високою швидкістю виконання. У роботі вибір методу геометричного синтезу здійснено на користь залучення тієї ж системи розв'язувальних співвідношень, що і для розв'язання задач аналізу.

Для розв'язання задач аналізу контактної взаємодії пропонується залучити декілька методів, об'єднавши їх єдиним методологічним підходом, що враховує специфіку створення геометричної моделі для досліджуваних тіл. В межах запропонованого загального підходу виділяються окремі задачі, що вимагають розв'язання з урахуванням специфіки досліджуваних СПТ: розробка методів автоматизованого створення скінченно-елементних моделей (СЕМ) та гранично-елементних моделей (ГЕМ); розробка методів геометричного синтезу, вбудованих у загальну структуру досліджень; вибір, адаптація та порівняльний аналіз методів дослідження НДС з урахуванням контактної взаємодії через нелінійно пружний проміжний шар.

Особлива увага приділена питанню розробки СЕМ та ГЕМ СПТ, методів автоматизованої генерації та параметризованого опису. Наголошується, що ситуація ускладнюється при дослідженні складнопрофільних просторових елементів конструкцій, коли вже сам етап геометричного синтезу настільки складний, що про автоматизацію, параметризацію і керованість сіток не може бути і мови, особливо для якісних призматичних СЕМ та ГЕМ. Аналіз парних відношень відповідних характеристик (критеріїв) дає можливість розкрити властиві даному процесу протиріччя: спроба поліпшити одну з характеристик моделі, як правило, вступає в конфлікт з вимогою зберегти іншу характеристику. При цьому, по-перше, компромісні варіанти не дають задовільного розв'язку ні за жодним з критеріїв, а по-друге, навіть при встановленні пріоритету однієї з цих характеристик вступає в дію відповідне обмеження. Для усунення протиріч, що виникають, був застосований модифікований варіант варіаційного принципу Калькера. Сформовано розв'язувальну систему співвідношень, яка слугує для розв'язання як прямих, так і обернених задач (тобто аналізу контактної взаємодії та синтезу геометричної форми контактуючих складнопрофільних тіл).

ПРОГНОЗУВАННЯ ЗНОШЕННЯ ГРЕБНІВ КОЛІС

Маслієв В.Г.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Однією із слабких ланок екіпажів є гребні коліс: на окремих ділянках їх зношення перевищує середнє по мережі в декілька разів. Це збільшує час простою під обточуванням для відновлення профілів коліс і спричиняє значні втрати металу та коштів.

На основі аналізу впливу технічного стану екіпажних частин рухомого складу на зношення гребнів удосконалено «фактор» їх зношення, що дозволить прогнозувати його не тільки у нового рухомого складу, а і такого, що вже має зазори від зношення у зв'язках букс із рамами візків. Аномальне зношення гребнів коліс спостерігається тільки на певній частині рухомого складу: якщо на одних зношення гребнів майже немає взагалі, то на інших воно значне. Майже у 80 % колісних пар зношення гребнів їх коліс суттєво відрізняється. Критерії зношення складені в основному для випадків руху екіпажів по кривих ділянках колії, хоча це явище спостерігається і при русі в прямих.

Пропонується у відому формулу фактору зносу додати кути набігу, що обумовлені зазорами у зв'язках букс із рамами, що закладені у кресленнях та з'являються в процесі експлуатації. Значення сумарного кута α набігу гребня колеса на рейку визначиться як сума наступних кутів набігу: обумовлених наведеними у кресленні рами та корпусу букси припусками на розміри, які визначають місце розташування колісної пари уздовж бічної рами візка; обумовлених припустимою різницею розмірів баз правої та лівої бічних рам; обумовленими порушеннями технології збирання складових зв'язків букс із рамою візка (пружних повідців, шпінтонів і т. ін.); обумовленими зносом поверхонь у зв'язках букс із рамами; обумовленими «забіганням» бічних рам одна відносно одної у три елементних візків; обумовленими зносом гребнів. Формула для фактора зносу гребнів отримає наступний вигляд

$$\Phi_i = Y [(x_{п.і} / R_i) + \alpha].$$

Дослідження впливу зазорів на прикладі візків моделі 18100 вантажних вагонів довели, що їх збільшення в процесі експлуатації сприяє зростанню інтенсивності зносу гребнів. Конструкторські та технологічні зазори у зв'язках букс із бічними рамами призначалися без урахування особливостей їх руху, що є однією з причин підвищеного зносу гребнів коліс.

Рекомендується поліпшити технологію виготовлення бічних рам та корпусів букс у напрямку підвищення точності, та своєчасно виявляти візки із підвищеним зносом напрямків бічних рам та спрямовуючих корпусів букс, щоб запобігти виникненню катастрофічної інтенсивності зносу.

Запропонована залежність для фактору зносу дозволила на прикладі візка моделі 18100 прогнозувати зменшення зносу гребнів його коліс за умовою обмеження (до 3 мм) сумарних зазорів у сполученнях корпусів букс із бічними рамами.

ВИХОВАННЯ ЕНЕРГООЩАДНОЇ ПОВЕДІНКИ У УЧНІВ СЕРЕДНЬОЇ ШКОЛИ

Медвідь С. А.¹, Хованський С. О.¹, Свинаренко М. С.²

¹Сумський державний університет, м. Суми,

*²Харківський національний університет будівництва та архітектури,
м. Харків*

В умовах загострення енергетичної та економічної кризи актуальними стали проблеми заощадження та ефективного використання енергоресурсів, які обумовлені не тільки їх обмеженими запасами у природі та світовими екологічними проблемами, а й наднормовими обсягами споживання у повсякденному житті і, відповідно, значними витратами коштів населення на оплату комунальних платежів. Оскільки механізм енергозбереження – це не лише практичне введення в експлуатацію нових технологій, що потребують менших затрат енергії, а й активна інформаційна діяльність, спрямована на економне її витрачання, то для досягнення цілі ефективного використання енергоресурсів із орієнтацією на довготривалий період важливим є залучення молодого покоління, зокрема школярів загальноосвітніх закладів, до навчально-практичної діяльності з питань енергоощадності.

Важливим кроком успішного вирішення даної проблеми є навчання громадян країни основам енергоефективності. Освіта і виховання у сфері енергозбереження – це напрямки єдиного процесу виховання ощадливого ставлення громадян до використання енергетичних ресурсів, яке забезпечується шляхом надбання та засвоєння знань про економічні, екологічні і соціальні переваги енергозбереження та здійснення державного контролю щодо рівня і ефективності отриманих знань. Для моніторингу стану сформованості енергетично грамотної поведінки були виділені відповідні критерії оцінювання: когнітивно-аналітичний, діяльнісно-поведінковий та ціннісно-мотиваційний. За методи моніторингу обрано: метод тестування, метод бесіди та метод анкетування. Порівнявши рівні сформованості теоретичних знань та практичних навичок учнів, можна стверджувати, що українські школярі характеризуються різними показниками сформованості компонентів «енергетичної культури». Високий рівень сформованості знань учнів вказує на більш теоретичний, фактичний підхід у вітчизняній системі освіти. Отже, зміні поведінки, звичок та стилю повсякденного життя учня приділяється не достатньо уваги. А це, в свою чергу, відображається на соціальній поведінці школярів та на доцільності вчинків у сфері заощадження енергії.

За результатами досліджень встановлено, що на даний момент необхідно забезпечити високий ступінь інформованості відповідних навчальних закладів та професійних організацій, що займаються освітою та підвищенням кваліфікації у сфері енергоефективності. Адже ощадливе й ефективне використання енергії має увійти в побут і звичку кожного школяра, а потім і стати частиною моралі суспільства. Від того, наскільки сучасна молодь перейматиметься ідеєю енергозбереження, буде залежати майбутнє не тільки нашої країни, а й планети в цілому.

ВПЛИВ НА РЕСУРСНУ МІЦНІСТЬ СПОСОБІВ ЗАВДАННЯ ГРАНИЧНИХ УМОВ В ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСАХ РОБОТИ ДИЗЕЛЯ

Мордвінцева І.О., Пильов В.О., Зозуля А.М., Аріан Р.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Під час проектування двигунів ресурсна міцність є одним з основних факторів, якому приділяється велика увага. На початкових етапах проектування за основну використовують концепцію гарантованого забезпечення ресурсу. Для визначення останнього необхідні дані про температурний та термонапружений стан деталі двигуна. При визначенні ресурсу поршня основну увагу приділяють отриманим даним щодо термонапруженого стану конструкції в критичних зонах.

Визначено температурний стан основних теплонапружених зон поршня в перехідному процесі навантаження дизеля 4ЧН12/14 для двох моделей задачі теплопровідності: з використанням експериментально встановлених керуючих функцій та одноступінчатого закону завдання граничних умов. На основі отриманих результатів також проведено розрахунок термонапруженого стану конструкції.

Результати порівняльних розрахунків температурного та термонапруженого стану показали, що при розрахунку по ступінчатому закону процес зростання температури є завищеним ніж по уточненому закону керуючих функцій. В першому наближенні можна вважати, що концепція забезпечення гарантованого ресурсу не порушується. При цьому різниця температур в зоні кромки камери згоряння не є критичною та лежить в допустимих межах 5% для таких обчислень. Однак, термічні напруження в зоні кромки камери згоряння при одноступінчатому законі зміни граничних умов є заниженими. Тут різниця для двох означених моделей складає близько 10%. При цьому розрахунки ресурсної міцності конструкції засвідчують, що використання на початкових етапах проектування спрощеного, одноступеневого, закону зміни граничних умов задачі теплопровідності приводить до порушення концепції гарантованого забезпечення ресурсу під час проектування.

Таким чином, при порівнянні спрощеного та уточненого законів керування тепловим станом поршня при моделюванні його циклічних термічних навантажень мають місце різнонаправлені зміни температур і термічних напружень. При цьому рекомендується до практичного застосування уточнені керуючі функції зміни значень граничних умов задачі теплопровідності. Подальший напрямок робіт направлено на пошук інших шляхів прискорення процесу проектування поршнів дизелів.

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ І НАЛАШТУВАНЬ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ НА СЕРЕДНЬОЕКСПЛУАТАЦІЙНУ ВИТРАТУ ПАЛИВА ДВИГУНОМ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Осетров О.О., Альохін Д.С.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Показники ефективності робочого процесу двигуна в складі автомобіля залежать від конструктивних параметрів, інтенсивності перемикання передач, стилю водіння, режиму руху. Для оцінки впливу різних чинників на середньо-експлуатаційні паливно-економічні та екологічні показники двигуна проводять експериментальні дослідження автомобілів на бігових барабанах за різними випробувальними циклами. В Європейських країнах прийнятий за основу випробувальний цикл NEDC.

На етапі проектування і оптимізаційних дослідженнях раціональним є математичне моделювання процесів і конструкцій. В роботі розроблено математичну модель робочого процесу і визначено середньоексплуатаційні показники двигуна MEM3 307.1 у складі автомобіля ЗАЗ-СЕНС в ході європейського випробувального циклу NEDC.

В роботі за основу прийнятий розрахунково-експериментальний метод визначення параметрів двигуна на режимах випробувального циклу. Відповідний цикл розбивається на ділянки (режими) тривалістю 1 с, в яких швидкість руху автомобіля і параметри роботи двигуна не змінюються. На кожному режимі проводиться моделювання робочого процесу двигуна та визначаються параметри паливної економічності і токсичності відпрацьованих газів двигуна. Ці параметри корегуються за експериментальними коефіцієнтами, що представляють собою відношення між показниками двигуна на режимах стаціонарного руху і режимах розгону/гальмування за тієї ж швидкості руху транспортного засобу. Математичною обробкою параметрів на усіх режимах випробувального циклу отримують середньо-експлуатаційні показники двигуна.

З використанням розробленої математичної моделі проаналізовано вплив радіуса коліс, висоти, маси автомобіля, моменту подачі іскри по куті повороту колінчастого валу, ККД трансмісії, а також опору дорожнього покриття на середню експлуатаційну витрату палива двигуном (л/100км). Виконані розрахунки показують, що збільшення радіусу коліс на 29%, зменшення висоти автомобіля на 5%, підвищення ККД трансмісії на 4%, зменшення маси автомобіля на 25% та зменшення сумарного коефіцієнту опору коченню з 0,03 до 0,01 призводить до зменшення експлуатаційної витрати палива автомобілем відповідно на 19, 2, 2, 7 і 28%.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ МАЛОЛІТРАЖНОГО ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Осетров О.О., Бекарюк О.М.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Малолітражні двигуни з іскровим запалюванням отримали поширення в якості енергетичної установки для генераторів струму, мінітракторів, мотоциклів, мотопомп та інших засобів. Для вибору двигуна для конкретного виду силової установки, налаштування та ідентифікації математичних моделей та інших цілей потрібно мати результати експериментальних досліджень робочого процесу. Проте в технічній літературі і навіть на інформаційних ресурсах виробників малолітражних двигунів недостатньо повно представлена інформація щодо показників робочого процесу двигунів. Зокрема недостатньо дослідженим є робочий процес двигунів Briggs&Stratton Vanguard 18HP.

З метою отримання експериментальних даних малолітражних двигунів кафедри двигунів внутрішнього згоряння Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» було розроблено експериментальний моторний стенд. Цей стенд дозволяє отримувати весь комплекс даних щодо показників ефективності робочого процесу і токсичності відпрацьованих газів означених двигунів.

У ході експериментальних досліджень двигуна Briggs&Stratton Vanguard 18HP було знято серію навантажувальних характеристик на режимах з частотами обертання колінчастого валу 1800, 2400, 3000, 3600 хв⁻¹. Показано, що карбюратор базового двигуна налаштований на збагачену суміш з коефіцієнтом надлишку повітря від 0,65 до 0,85 на більшості експлуатаційних режимів. Це є не оптимальним і призводить до підвищеної витрати палива та збільшеного викиду продуктів неповного згоряння з відпрацьованими газами. Запропоновано змінити регулювання карбюратора на суміш з коефіцієнтом надлишку повітря 0,9-1, що дозволить покращити паливно-економічні та екологічні показники двигуна.

За графіками зміни годинної витрати палива залежно від навантаження на двигун було визначено загальні механічні втрати в двигуні на різних частотах обертання. Запропоновано емпіричну залежність загальних механічних втрат від частоти обертання колінчастого валу. За результатами математичного моделювання робочого процесу визначено внесок у загальні механічні втрати втрат на здійснення насосних ходів і втрат на тертя в механізмах та агрегатах двигуна.

СПЕЦІАЛІЗОВАНИЙ ІНТЕГРОВАНІЙ ПРОГРАМНО-МОДЕЛЬНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ РЕАКЦІЇ КОРПУСУ НА ВПЛИВ ЗУСИЛЬ СТРІЛЬБИ ТА ДИНАМІЧНИХ ЗУСИЛЬ ВІД ПІДВІСКІ

**Пелешко Є. В.¹, Ткачук Г. В.², Малакей А. М.³, Танченко А. Ю.²,
Васильєв А. Ю.², Шеманська В. В.¹, Ляшенко А. С.¹, Мерецька К. О.¹**

¹*ТОВ «БІП Україна», м. Одеса,*

²*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,*

³*ДП «Завод ім. Малишева», м. Харків*

На основі розробленої удосконаленої математичної моделі і узагальненого параметричного підходу пропонується нова технологія досліджень з реалізацією у вигляді спеціалізованого інтегровального програмно-модельного комплексу (СПМК) для розв'язання задач аналізу та синтезу корпусів легкоброньованих машин за критеріями міцності і жорсткості в умовах імпульсного навантаження з метою обґрунтування їхніх раціональних конструктивних параметрів. Як базова універсальна CAD/CAM/CAE-система обрана система Pro/ENGINEER (Creo), а також система ANSYS. Сучасні тенденції розвитку технологій проектування і виробництва нових видів продукції вказують на те, що використання сучасних універсальних систем автоматизованого проектування, виготовлення і дослідження дає можливість істотно скоротити терміни від перших ескізів до серійного випуску готової продукції. Крім часових ресурсів, також істотно зменшуються витрати на всіх етапах проектування, дослідження, створення дослідних зразків, підготовки серійного виробництва. Однак використання універсальних систем пов'язане із низкою проблем. Одним з найбільш важливих питань залишається збереження двоспрямованої параметризації на всьому ланцюжку використовуваних систем, що на даному етапі – нерозв'язна проблема для універсальних комерційних систем. Вирішити зазначену проблему дає змогу застосування узагальненого параметричного підходу. Узагальнений параметричний підхід полягає в розширенні області параметрів геометричної моделі параметрами фізичної та чисельної моделей, створюваних на базі геометричної: прикладами таких параметрів можуть бути умови навантаження і закріплення, параметри скінченно-елементної сітки тощо. На основі цього підходу проводиться побудова просторових геометричних і скінченно-елементних моделей досліджуваних об'єктів. Транспортні засоби спеціального призначення протягом усього циклу життя описуються цілою низкою параметрів (конструктивних, технологічних, виробничих, експлуатаційних, а також режимів бойового застосування). При цьому сама машина, що представляє собою складну різнокомпонентну систему, в процесі створення вимагає проведення цілої низки досліджень, в тому числі визначення напружено-деформованого стану найбільш навантажених і відповідальних елементів для обґрунтованого вибору основних конструктивних параметрів. Необхідне проведення різноманітних досліджень для визначення реакції елементів транспортного засобу на зовнішні дії. Ці дослідження були здійснені із застосуванням створеного комплексу. З використанням узагальненого параметричного підходу на базі універсальних CAD/CAM/CAE-систем побудовано блочно-модульний СПМК, що забезпечує функціонування ланцюжка «проектування-дослідження-виготовлення» в автоматизованому режимі.

**СТРУКТУРА СИСТЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ
НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КОРПУСІВ
ЛЕГКОБРОНЬОВАНИХ МАШИН**

**Пелешко Є. В.¹, Ткачук М. А.², Грабовський А. В.², Набоков А. В.²,
Хузяхметова М. Р.², Рікунов О. М.³**

¹*ТОВ «БІР Україна», м. Одеса,*

²*Національний технічний університет*

«Харківський політехнічний інститут»,

³*Національна академія Національної гвардії України, м. Харків*

У роботі запропонована нова методологія обґрунтування проектних рішень для елементів легкоброньованих машин (ЛБМ). Підхід до проектування ЛБМ із заданими тактико-технічними характеристиками (ТТХ) на основі створення спеціалізованого інтегрованого програмно-модельного комплексу вирішує основне протиріччя процесу проектування їхніх корпусів – між обмеженими ресурсами часу, коштів і технічних ресурсів, що виділяються на цілі дослідження напружено-деформованого стану (НДС) корпусів даних машин від впливу зусиль віддачі при стрільбі із скорострільних артилерійських систем і зусиль від підвіски, а також потрібною високою якістю моделювання визначального фізико-механічного процесу, що протікає при сприйнятті корпусом цих імпульсних впливів. Відмінною особливістю передбачуваного підходу, його принциповою новизною є зміщення центру ваги при проведенні досліджень на перші етапи проведення проектних робіт, що істотно підвищує ефективність прийнятих на цій стадії рішень для забезпечення в цілому заданих ТТХ за рівнем захищеності, точності стрільби і рухливості.

Основним елементом створюваного сімейства спеціалізованих інтегрованих програмно-модельних комплексів для дослідження реакції корпусів ЛБМ на вплив зусиль стрільби є параметризовані інтегровані моделі, повністю адаптовані для розв'язання проектних задач у середовищі універсальних CAD/CAM/CAE-систем або в поєднанні зі спеціалізованими модулями. Як базове середовище досліджень НДС та створення проектних варіантів корпусів ЛБМ, які забезпечують задані ТТХ бойової машини, були обрані інтегровані середовища розробки та досліджень на основі Pro/ENGINEER (Creo), ANSYS, SolidWorks, що відрізняються, як показали спеціальні додаткові дослідження, всім необхідним інструментарієм для моделювання складних фізико-механічних процесів, а також властивостями наскрізної параметризації моделей, асоціативністю, розширеними можливостями геометричного поверхневого і твердотілого моделювання. Впровадження запропонованої технології досліджень здійснюється шляхом вбудовування природним чином в існуючі процеси проектування, тому що не використовуються ніякі сторонні формати даних, відмінні від форматів базового середовища.

Запропонований спеціалізований інтегрований програмно-модельний комплекс створюється на основі модульної побудови, що покращує якість програмного коду, розширює можливості одержуваних моделей і підвищує оперативність проведення всього циклу досліджень.

СТВОРЕННЯ СІМЕЙСТВА ГЕОМЕТРИЧНИХ МОДЕЛЕЙ БРОНЕКОРПУСІВ ЛЕГКОБРОНЬОВАНИХ МАШИН У СПЕЦІАЛІЗОВАНОМУ ІНТЕГРОВАНОМУ ПРОГРАМНО- МОДЕЛЬНОМУ КОМПЛЕКСІ

**Пелешко Є. В.¹, Ткачук М. А.², Малакей А. М.³, Танченко А. Ю.²,
Васильєв А. Ю.², Шеманська В. В.², Сопрунов І. А.², Головін А. М.²**

¹ТОВ «БІПР Україна», м. Одеса,

**²Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,**

³ДП «Завод ім. Малишева», м. Харків

Корпус легкоброньованої бойової машини (ЛБМ) є складною просторовою зварною конструкцією, зовнішня обшивка якої сформована в основному плоскими поверхнями (бронелистами різної товщини), розташованими під різними кутами один до одного. Зсередини листи підкріплюються силовими елементами у вигляді балок, стійок, ребер, що мають поперечні перерізи різних розмірів і профілів. Необхідність стикування різноманітних елементів корпусу під кутами один до одного, наявність пластинчастих і об'ємних деталей призводять до побудови моделі як сукупності різних поверхонь, які при призначенні товщини виступають згодом як серединні.

При побудові бази даних про геометрію застосовується структурний підхід. В основі «класифікації» корпусів лежить тип. Так, для вітчизняних машин як базові можна вибрати існуючі типи машин, таких як: МТ-ЛБ, БМП-1, БТР-80, БТР-3Е, БТР-4, Дозор, БРДМ тощо. Подальший розподіл геометричних моделей здійснюється за структурними рішеннями, оскільки існує множина структурних виконань модифікації тієї чи іншої ЛБМ. Для спрощення побудови геометричних моделей і розрахунку необхідно будувати модель у вигляді оболонково-стрижневої конструкції. Це уможливить суттєво прискорити процес розв'язання задачі аналізу напружено-деформованого стану конструкції, а також збільшити точність розрахунків при відносно невеликій розмірності задачі. У САД-системі пропонується створення для кожного типу машини спеціального призначення окремого файлу. Для розв'язання задачі підбору геометричних параметрів конструкції необхідно врахувати при побудові моделі можливість варіювати геометричні розміри конструкції. Крім геометричних розмірів, існує можливість варіювання різних конструктивних рішень, таких як додаткові бронелисти, балки тощо. Одними з основних змінних параметрів є товщини бронелистів. Оскільки геометрія, побудована в системі автоматизованого проектування, є пластинчато-балочною конструкцією з нульовими товщинами і перерізами відповідно, то необхідно «оброзмірити» конструкцію, тобто проставити відсутні розміри. Ці розміри є складовими компонентами узагальненого параметричного простору, який однозначно визначає проектований корпус ЛБМ. Разом із товщиною бронелистів і перетинами балок також задаються фізичні властивості матеріалу. Фізичні властивості матеріалу також можуть виступати як змінні параметри. Таким чином, отримуємо базу даних геометричних моделей корпусів ЛБМ, що ідентифікується своєю множиною параметрів для кожного їх типу.

СТВОРЕННЯ БАЗИ ДАНИХ ІЗ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ГРАНИЧНИХ УМОВ ПРИ РОЗРАХУНКУ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ БРОНЕКОРПУСІВ ЛЕГКОБРОНЬОВАНИХ МАШИН

**Пелешко Є. В.¹, Ткачук М. А.², Малакей А. М.³, Танченко А. Ю.²,
Набоков А. В.², Васильєв А. Ю.², Мерецька К. О.², Коба А. М.²**

¹*ТОВ «БІП Україна», м. Одеса,*

²*Національний технічний університет*

«Харківський політехнічний інститут»,

³*ДП «Завод ім. В.О. Малишева», м. Харків*

Для дослідження динамічного напружено-деформованого стану бронекорпусів легкоброньованих машин (ЛБМ) необхідно формування граничних умов.

Для побудови бази цих навантажень і граничних умов необхідно розділити навантаження на типи (залежно від природи виникнення навантаження). Граничні умови, як правило, істотно залежать від типу навантаження. Це пов'язано зі специфікою розв'язуваних задач, зокрема для випадку, коли основним типом навантаження є стрільба із бойового модуля.

З урахуванням поточних тенденцій розвитку сучасного бронетанкобудування основним видом підвищення вогневої потужності бойових машин легкої категорії за масою є установка на них потужних бойових модулів. Оскільки залежно від встановленого на бойову машину модуля змінюються навантаження, що діють на корпус ЛБМ, то необхідно навантаження зберігати в базі даних для кожного модуля. У пропонованому до створення спеціалізованому інтегрованому програмно-модельному комплексі із застосуванням CAD/CAE-системи завдання навантажень і граничних умов здійснюється в інтегрованому у комплекс модулі. Кожен з типів навантаження або закріплення може містити в собі кілька умов. Наприклад, для закріплення можуть бути задані в різних точках різні обмеження на переміщення. При виконанні різних розрахунків вибирається один тип закріплення та один або комбінація декількох видів навантаження: сила і момент, що діють на корпус при пострілі і прикладені в точці розташування артилерійської гармати, а також сила тяжіння, що діє на конструкцію. Оскільки вісь прикладання сили не збігається з віссю гармати, для компенсації зміщення точки прикладання вводиться відповідний момент. Для можливості варіювання напрямком пострілу вводяться додаткові параметри: кут азимута і кут піднесення гармати при стрільбі. Задані параметри враховуються при завданні навантажень, що діють на корпус бронемашини, шляхом розкладання сили і моменту, що діють на корпус ЛБМ, на координатні осі.

Для завдання моделювання стрільби задається імпульсна функція. Частота імпульсу відповідає темпу стрільби. Для різних бойових модулів необхідно задавати індивідуальну часову функцію залежно від скорострільності зброї. Таким чином, можна накопичувати базу даних скорострільності і сили віддачі різних артилерійських гармат. При розрахунку динаміки стрільби спеціалізований інтегрований програмно-модельний комплекс здійснює множення амплітудних значень навантаження (тактико-технічні характеристики відповідної гармати) на часову (імпульсну) функцію.

РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ НАГРІВУ ДО СТАЛИХ ТЕПЛОВИХ РЕЖИМІВ ПЕРСПЕКТИВНИХ АСИНХРОННИХ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ

Петренко О.М., Любарський Б.Г.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Процеси перетворення енергії у електрорухомому складі (ЕРС) обумовлюється, в першу чергу, роботою тягового приводу (ТП). Цей процес, для найбільш перспективних для України асинхронних ТП, залежить від їх режимів роботи, які обумовлені профілем колії та графіком руху ЕРС, з одного боку, та режимами роботи системи управління, з іншого. Втрати, що виникають в елементах ТП, призводять до нагріву елементів його конструкції. Для зменшення температури в елементах конструкції двигунів використовуються системи охолодження, які підвищують ефективність теплообміну елементів конструкції двигуна при вентиляції. Таким чином в ЕРС з асинхронними ТП виникає технічна проблема створення ефективних систем охолодження, які з одного боку забезпечували необхідні теплові умови для роботи асинхронних тягових двигунів (АТД), а з іншого дозволили зменшити витрати енергії на охолодження та вентиляцію. Для аналізу теплових процесів у перспективних тягових двигунах виробництва ДП завод «Електроважмаш» проведено моделювання режимів проводилось на прикладі АТД АД 917 з внутрішньою вентиляцією та ступенем захисту IP 23 та на АТД з аналогічними параметрами активної частини статора та ротору та з зовнішньою системою охолодження та ступенем захисту IP 44, а також АД 931 виробництва того ж підприємства з зовнішньою системою охолодження та ступенем захисту IP 54 та на АТД з аналогічними параметрами активної частини статора та ротору та з внутрішньою системою охолодження та ступенем захисту IP 23. Моделювання проводилось в режимі нагріву двигуна до здійснюється за $2 \cdot 10^4$ с та його охолодження за такий самий час. Живлення здійснювалося як в режимі однократної ШІМ так і при застосуванні просторово-векторної ШІМ. Режим роботи двигуна номінальний. Визначені зміни перевищень температур елементів конструкцій АТД з часом у сталому режимі та при частоті обертання примусового мотор-вентилятора 1415 об/хв, для АД 917 та при роботі штатної самовентиляції АД 931. Слід зазначити, що при моделювання знаходилися перевищення температур над температурою навколишнього середовища, тому для визначення реальних значень температури необхідно додавання до них температури навколишнього середовища.

Визначено, що характер зміни температури у двигунів близький, однак постійні часу у АД 917 більша, що обумовлено більшими значеннями мас елементів конструкції двигуна. Найбільшу постійну часу має температура ротора. Найбільшу температуру нагріву в АД 917, що складає $124,05^{\circ}\text{C}$ в режимі однократної ШІМ та $99,1^{\circ}\text{C}$ при просторово-векторному режимі ШІМ має пазова частина обмотки. Це обумовлено меншою ніж статор площею теплообміну та значними втратами в міді двигуна.

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКОЛОГІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ДИЗЕЛІВ ЗА РАХУНОК ПРИСКОРЕНОГО ВИМІРУ ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК

Полив'янчук А.П.¹, Каслін О.І.², Скурідіна О.О.³

*¹Харківський національний університет міського господарства
ім. О.М. Бекетова,*

*²Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків*

*³Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля,
м. Сєверодонецьк*

Середньоексплуатаційний питомий викид твердих частинок (ТЧ) є одним з основних нормованих показників дизелів і позначається в нормативних документах, як показник РМ (від англ. «particulate matter» - тверді частинки).

З нормуванням масових викидів ТЧ пов'язана проблема зростання тривалості і вартості екологічних випробувань дизелів через підвищені витрати часу на визначення показника РМ. Нормативна база для проведення екологічних випробувань дизелів - стандарт ISO 8178 [1] передбачає визначення РМ разом з іншими показниками токсичності відпрацьованих газів (ВГ) - питомими викидами газоподібних забруднюючих речовин - GAS_x в ході випробувальних циклів, що складаються з нормованих режимів роботи двигуна. На кожному режимі проводиться відбір проб забруднюючих речовин для аналізу. Технологія контролю викидів ТЧ передбачає попереднє розбавлення ВГ двигуна атмосферним повітрям з наступним пропусканням їх через фільтр для відбору проб ТЧ. При цьому тривалість відбору проб ТЧ визначається швидкістю фільтрації проби і масою навіски ТЧ, яка збирається на фільтрах. Застосовуваний сьогодні спосіб контролю викидів ТЧ (тунелі фірм AVL, Mitsubishi, Pirburg), характеризується підвищеними витратами часу на відбір проб ТЧ, що істотно перевищують тривалості відбору проб газоподібних забруднюючих речовин - 3-5 хв на кожному режимі випробувань [2]. Внаслідок цього процедура визначення показника РТ триваліше за часом в 1,2...3,0 рази і дорожча в 1,1...2,1 рази, ніж процедура контролю показників GAS_x . Щоб вирішити дану проблему і підвищити економічну ефективність екологічних випробувань дизелів авторами запропоновано метод прискореного виміру ТЧ, реалізація якого дозволяє знизити тривалість відбору проби у 3,1...7,1 рази [3].

Література:

1. ISO 8178-4. Reciprocating internal combustion engines – Exhaust emission measurement – Part4: Steady-state and transient test cycles for different engine applications, 2017. – 237 p.
2. Hirakouchi N., Fukano I., Shoji T. Measurement of Diesel Exhaust Emissions with Mini Dilution Tunnel // SAE Technical Paper Series.1989. № 890181. 11p.
3. Полив'янчук А.П. Створення на базі мікротунелю універсальної системи динамічного контролю викидів дизельних твердих частинок / А.П. Полив'янчук, О.І. Каслін, М.Ф. Смирний, О.П. Строков, О.О. Скурідіна // Людина та довкілля. Проблеми неоекології. – 2017. – №3-4(28). – С. 139–151.

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТЕПЛОВОЗА ЧМЕЗ ЗА ДОПОМОГОЮ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ

Помазан Д.П., Маслій А.С., Буряковський С.Г., Деніс І.В.

*Український державний університет залізничного транспорту,
м. Харків*

Проведений огляд показує, що тепловози ЧМЕЗ складають 97% усього парку маневрових локомотивів української залізниці. Окрім маневрової роботи на станціях ці тепловози часто використовуються для вивізної роботи, а також у приміському русі. В умовах запровадження швидкісного руху особливого значення набуває оптимізація режимів ведення даних типів поїздів ділянками. В умовах підвищення швидкості проходження ділянки слід не забувати про витрати паливно-енергетичних ресурсів.

Для різних умов експлуатації раціональні режими водіння поїздів мають суттєві особливості. Це не дозволяє рекомендувати один режим ведення поїзда як оптимальний для всіх практично можливих умов руху по ділянці, оскільки навіть на одній і тій самій ділянці ці умови часто змінюються. Крім того, характеристики електричних машин і конкретних локомотивів в залежності від їх технічного стану можуть в певних межах відрізнятися від відповідних паспортних даних.

Для дослідження режимів ведення поїзда ділянкою Харків-Мерефа розроблена імітаційна модель, функціональна схема якої наведена на рисунку 1.

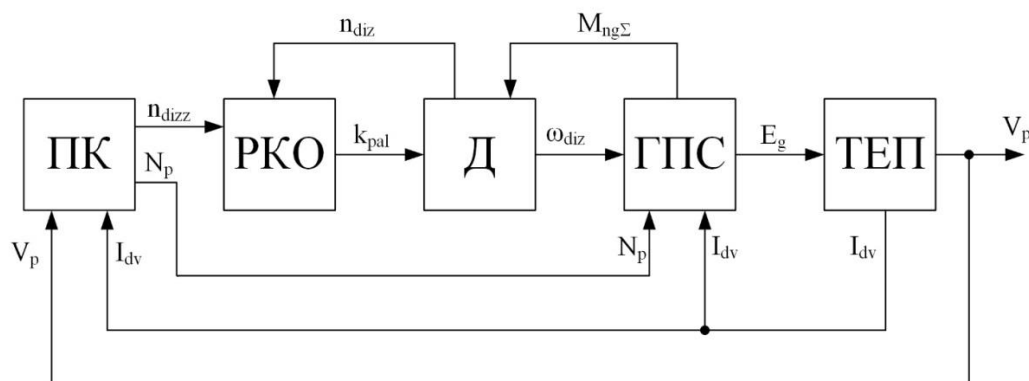


Рис. 1. Функціональна схема моделі тепловозу ЧМЕЗ: ПК – пульт керування; РКО – регулятор кількості обертів дизеля; Д – дизель; ГПС – генератор постійного струму зі збуджувачем; ТЕП – тяговий електропривод

У результаті моделювання отримані статистичні дані витрат палива на проходження ділянки, що дозволить в подальшому розробити практичні рекомендації підвищення ефективності роботи тепловоза.

Література:

1. Ефименко Ю.И., Ковалев В.И., Логинов С.И., Железные дороги. Общий курс: Учебник – М.: УМЦ ЖДТ, 2014. – 503 с.
2. Velten, K. Principles of Mathematical Modeling, in Mathematical Modeling and Simulation: Introduction for Scientists and Engineers, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany, 2008. doi:10.1002/9783527627608.ch1

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕТРИИ И АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭВОЛЮТНОГО ЗУБЧАТОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ С УЧЕТОМ НЕРАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ ПО ДЛИНЕ ЗУБА

Протасов Р. В.¹, Устиненко А. В.¹, Сопрунов И. А.¹, Андриенко С. В.²

¹ *Национальный технический университет*

«Харьковский политехнический институт»,

**² *Харьковский Национальный автомобильно-дорожный университет,
г. Харьков***

Современные методы проектирования и расчета деталей машин позволяют значительно уменьшить долю натурных экспериментов для моделирования сложных процессов, возникающих при работе машиностроительных изделий. Это особенно важно для учета погрешностей изготовления и монтажа деталей, так как позволяет определить увеличение нагрузки на отдельные элементы механизма и оценить его работоспособность в целом.

Для эвольвентных зубчатых передач характерен ряд погрешностей, которые возникают на этапе монтажа передачи в корпус, причем их величина может меняться в процессе работы. Одной из таких погрешностей является перекос осей колес, приводящий к неравномерному распределению нагрузки по длине зуба, что негативно сказывается на несущей способности и долговечности передачи.

Классические методики расчета эвольвентных передач учитывают эти погрешности через коэффициенты неравномерности распределения нагрузки по длине зуба. Однако эти методики основаны на большом объеме экспериментальных данных.

В настоящий момент в мире ведутся работы по созданию незвольвентных зацеплений с выпукло-вогнутым контактом. К ним относится и так называемое эволютное. Оно позволяет повысить контактную прочность передачи, но, как и эвольвентное, чувствительно к погрешностям изготовления и монтажа.

Используя современные CAD/CAE пакеты, можно проводить анализ напряженно-деформированного состояния с учетом перекоса осей зубчатых колес, причем возможно моделировать изменение угла перекоса с любым расчетным шагом и при любом положении линии зацепления по высоте зуба. В каждом положении возможен расчет НДС как по ускоренной методике для быстрого анализа допустимых величин перекоса, при которых сохраняется работоспособность передачи, так и с использованием более мелкой конечно-элементной сетки для более точной оценки действующих напряжений.

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ КОНСТРУКЦІЙ КОЛІСНИХ ТРАКТОРІВ ПРИ АГРЕГАТУВАННІ ЗМІННИМ НАВІСНИМ І ПРИЧЕПНИМ ОБЛАДНАННЯМ ТА В ТРАНСПОРТНОМУ РЕЖИМІ ДЛЯ СЕРЕДНЬОГО ФЕРМЕРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

Самородов В.Б., Краснокутський В.М., Гриненко Г.Г

Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут»,

м. Харків

На сьогоднішній день трактори використовуються не тільки в ролі пропашних, а також протягом всього року в якості енергетичного модуля для різних машин механізації сільського господарства, а також як навантажувачі, легкі бульдозери, тягачі тракторних потягів, скрепери та інше.

Застосування різноманітного змінного навісного і причепного обладнання призводить до змін параметрів конструкції та маневреності колісних тракторів, а саме: амплітудного значення навантажень, їх напрямку та місця прикладання. Також це впливає на техніку безпеки при їх експлуатації.

Мета та задачі дослідження. Метою досліджень є підвищення технічного рівня колісних тракторів середнього класу за рахунок оптимізації параметрів їх конструкцій при агрегуванні їх змінним навісним обладнанням і при експлуатуванні їх в транспортному режимі, в тому числі в тракторних потягах в умовах середнього фермерського господарства.

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- Провести дослідження впливу навісного та причіпного обладнання на маневреність колісних тракторів та їх конструкцію;
- Провести дослідження маневреності колісних тракторів з передніми ведучими мостами при експлуатації з різним змінним навісним та причіпним обладнанням та агрегатами;
- Провести дослідження колісних тракторів з двома керованими мостами при виконанні різних сільськогосподарських операцій;
- Провести дослідження повороту колісних тракторів динамічним способом з різним змінним навісним та причіпним обладнанням та агрегатами.

Об'єкт дослідження – процеси маневрування та зміни розподілу навантажень на конструкцію колісних тракторів з змінним навісним та причіпним обладнанням при різних способах їх виконання під час проведення польових, транспортних та навантажувально-розвантажувальних операцій.

Предмет дослідження – покращення конструкції та маневреності колісних тракторів при агрегуванні їх змінним навісним та причіпним обладнанням при експлуатуванні їх в різних режимах в умовах середнього фермерського господарства.

Літератури:

1. Смирнов Г.А. Теория движения колёсных машин. – М.: Машиностроение, 1990. – 352с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ГІДРООБ'ЄМНІ ПЕРЕДАЧІ В СКЛАДІ ГІДРООБ'ЄМНО МЕХАНІЧНОЇ ТРАНСМІСІЇ ТРАКТОРА

Самородов В.Б., Шевцов В.М.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

В роботі ставиться задача аналізу зміни температур робочої рідини гідрооб'ємної передачі в складі гідрооб'ємно механічної трансмісії при різних режимах роботи. Для досягнення найефективнішого використання ГОМТ слід враховувати фактори, що безпосередньо впливають на її роботу. Одним з таких факторів є температура робочої рідини систем, що входять до складу трансмісії та систем керування самохідних машин. Зміна температури суттєво впливає на силові, кінематичні та енергетичні параметри ГОМТ (збільшення тиску за рахунок теплового розширення, збільшення втрат на витоки, тощо).

Для аналізу пропонується розділити гідрооб'ємну передачу на ряд окремих ланок та проаналізувати поведінку робочої рідини на кожній з них. Наприклад, при проходженні рідини через гідромашину відбувається збільшення температури за рахунок наявності на цій ланці втрат потужності. Ці втрати складаються з механічних втрат (тобто тертя в підшипниках та ін.) та об'ємних втрат (витоки рідини через щілини). Зазначені втрати реалізуються у вигляді тепла, що і впливає на температуру робочої рідини. На різних ділянках відбувається змішування робочої рідини з різною температурою, наприклад в картері гідромашин або в блоці розподільників на гідромоторі, що також враховується при аналізі. При аналізі теплообмінників на першому етапі вводиться допущення повної реалізації енергії, що виділилася в процесі роботи передачі. В подальшому проводиться аналіз для варіантів часткової реалізації енергії, при якій відбувається накопичення тепла та розігрів робочої рідини. Ефективність роботи теплообмінників залежить, від режимів роботи гідрооб'ємної передачі, а також від їх конструкції, розмірів та розташування. Тобто чим більша площа тепловіддачі, тим ефективніше реалізується накопичена енергія. Для трактору, де вже встановлений досить масивний пакет теплообмінників, встановлення великогабаритного теплообмінника є досить непростю задачею. В роботі, в тому числі, ставиться задача знаходження оптимального співвідношення означених параметрів та формування рекомендацій щодо режимів роботи гідрооб'ємної передачі.

Для опису зазначених процесів використовується розширений матричний аналіз, який ураховує, окрім кінематичних та силових, температурні параметри гідропередачі. Аналіз характеру зміни температури робочої рідини та визначення факторів, що впливають на інтенсивність її збільшення дозволяє проектувати системи, що найбільш оптимально підходять для виконання конкретних поставлених задач. Також це дозволяє більш ефективно проектувати системи охолодження робочої рідини в залежності від схемного рішення та умов роботи трактору.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ КОНСТРУКЦИИ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЦЕПЛЕНИЯ

Сергиенко Н.Е.¹, Калинин П.М.², Сергиенко А.Н.³, Турчаников А.Г.¹

¹*Национальный технический университет*

«Харьковский политехнический институт»,

²*Национальная академия Национальной гвардии Украины,*

³*ООО «Интехресурс»,*

г. Харьков

3D моделирование сегодня является мощным инструментом формирования технического уровня не только конструкций машин, но и их систем управления. 3D-технологии позволяют получать полную сборку в трехмерном виде и определять сопрягаемость всех узлов и деталей до изготовления, что существенно сокращает время на доработку проекта или устранение дефектов. Сегодня имеющийся программный комплекс позволяет проводить анализ кинематики объекта проектирования, что особенно становится важным при отработке систем управления. Графическое представление объектов управления в виде 3D-моделей преподносит информацию в наиболее удобном и естественном для человека виде, что положительным образом сказывается на качестве и оперативности принятия решений.

Проектируемые элементы конструкции имеют достаточно сложную конструкцию и форму. Часто возникает необходимость определения распределения нагруженности деталей, соединений, что без их 3D моделей осуществить сложно или требует больших трудозатрат.

В работе решается задача проектирования нового, оригинального сухого, сдвоенного сцепления с различными вариантами системы управления. На рис. представлено основные детали сдвоенного сцепления.

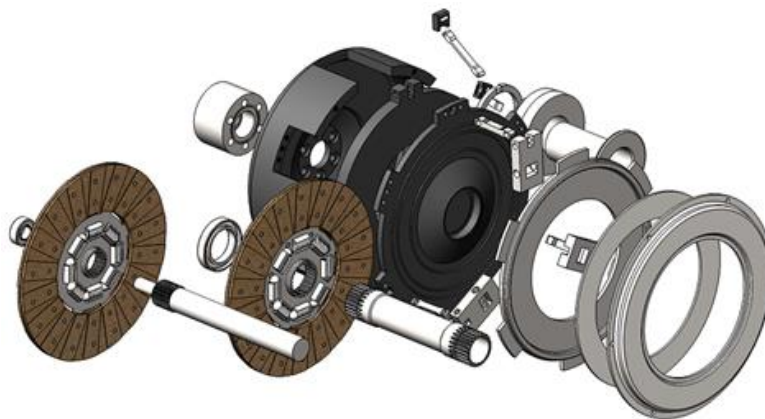


Рисунок – Разнесенный вид 3D-модели сдвоенного сцепления

По результатам разработки предложены работоспособные варианты конструкции сдвоенного сцепления и систем управления.

ОЦІНКА ВПЛИВУ УПРАВЛІННЯ НАВІСНИМ ОБЛАДНАННЯМ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ПОКАЗНИКИ АВТОМОБІЛЯ

Сергієнко М.Є., Любарський Б.Г., Агапов О.М.,

Пастушина М.І., Косарєв О.В.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Покращення тягово-динамічних властивостей, екологічної безпеки та паливної економічності автомобілів з ДВЗ актуально постійно для виробників автомобілів та транспортних підприємств. Варіант управління потоками потужності ДВЗ серед напрямків покращення показників автомобіля використовується сьогодні не достатньо повно і потребує мінімальних витрат при впровадженні. Модернізацію систем управління можливо реалізувати при створенні нових автомобілів та модернізації діючих.

При експлуатації автомобіля важливим практичним завданням є раціональне, цілеспрямоване використання енергії накопичувача, автомобіля, визначення оптимальних значень прискорення при розгоні, сталої швидкості руху в різних дорожніх умовах. Аналіз джерел інформації показав, що тривалість таких складових режимів руху як холостий хід, розгін, усталений рух і гальмування автомобілів в міських умовах відрізняється від руху за містом. При цьому потужність від двигуна на привід навісного обладнання витрачається незалежно від режимів руху автомобіля.

Розроблені алгоритм [1] та система управління показали працездатність і можливість використання її на автомобілях різних класів.

В роботі виконано моделювання руху автомобіля в умовах європейського випробувального циклу з одночасним керуванням режимів роботи генератора, як одного з пристроїв навісного обладнання. Дослідження виконані в програмі MATLAB Simulink. Визначені вихідні дані автомобіля та генератора.

При моделюванні визначено зміну динамічного фактору автомобіля, його часу розгону при управлінні споживаної потужністю генератором, а також при зміні його номінальної потужності.

Оцінка тягово-динамічних показників та паливної економічності показала покращення характеристик дослідного автомобіля.

Отримані результати відповідають реальним значенням параметрам руху автомобіля та показникам роботи генератора.

Експериментальні дослідження модернізованого автомобіля ВАЗ-2121 підтвердили покращення показників при управлінні потоками потужності ДВЗ, енергією автомобіля в процесі експлуатації. Особливо ефект досягається в умовах міста.

Література:

1. Сергієнко М.Є. Алгоритми керування енергією автомобіля / Сергієнко М.Є., Сергієнко А.М., Маренич О.М. // Тези доповідей XIX міжн. н.-практ. конф. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. (01-03 червня 2011 р. Харків) за ред. Товажнянського Л.Л. Харків: НТУ «ХПІ», 2011. – С.192.

РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ОРИГІНАЛЬНОГО ЗДВОЄНОГО ЗЧЕПЛЕННЯ

Сергієнко М.Є.¹, Перевозник А.С.², Свідло В.С.¹, Турчаніков А.Г.¹

¹Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут»,

²Харківський державний автомобільно-дорожній коледж,

м. Харків

Зчеплення є одним з найважливіших вузлів в трансмісії сучасних автомобілів. Адже, конструюючи нову модель автомобіля або вдосконалюючи існуючу, необхідно розуміти, що через цей вузол трансмісії передається вся потужність двигуна, яка дає автомобілю можливість виконувати своє призначення. Конструкція зчеплення впливає на навантаженість трансмісії, техніко-економічні показники автомобіля.

Аналіз конструкцій зчеплень показав, що сьогодні на сучасних автомобілях використовуються здвоєні зчеплення які забезпечують покращення показників автомобілів в експлуатації.

Для отримання кращих показників автомобіля систему керування і конструкцію зчеплень необхідно постійно удосконалювати [1 та ін.]. Для забезпечення автоматизації управління ДВЗ, здвоєним зчепленням і коробкою передач запропонована оригінальна електромеханічна система керування зчепленням [2].

При використанні обраної конструкції необхідно оцінити умови роботи елементів конструкції. Суттєво впливає на працездатність, стабільність роботи зчеплення теплова навантаженість фрикційних елементів зчеплення. Запропонований алгоритм, методика досліджень елементів зчеплення дозволяє визначити зміни температури, їхньої форми, геометрії при комбінованому виді навантаження. Дослідження конструкції, форми, наприклад натискного диска, дозволяє оцінити різні його варіанти і виявити найбільш раціональний з різних точок зору.

З розглянутої конструкції зчеплення натискний диск з радіальними отворами найбільше доцільно використовувати, так як забезпечує найменше теплове навантаження, а слід і відхилення геометричних параметрів, при цьому очікується підвищення надійності й працездатності вузла.

Аналіз і порівняння отриманих теоретичних даних з експериментальними вимірами, а також анімація процесу показує, що результати близькі до отриманих в ході випробувань.

Література:

1. Сергієнко М. Є. 101711 Двопотокова муфта зчеплення [Текст] / М. Є. Сергієнко, А. М. Сергієнко, О.І. Худолій // Патенти и изобретения: Изобретения, – 2013.
2. Сергиенко Н.Е. Система управление муфтой сцепления транспортного средства. Пат. 2645514 РФ, В60К 17/348, В60К 23/02 (2006.01). Заявка №2017 101361. Заявл. 16.01.2017. Опубл. 21.02.2018. Бюл. №6.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ В МУФТІ ЗЧЕПЛЕННЯ ТРАКТОРА

Сергієнко М.Є., Сергієнко А.М.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
ООО «Інтехресурс»
м. Харків*

При моделюванні процесів можливо виділити три основні режими роботи муфти зчеплення:

- муфта зчеплення повністю виключена;
- перехідний режим;
- муфта зчеплення повністю включена.

Повністю включена – основний режим роботи зчеплення. Натискний диск притискає ведений до маховика ДВЗ, змушуючи їх обертатися з однією швидкістю.

Повністю виключено – режим роботи при вижатій до упору натискній пружині (пристрою). Натискний диск звільняє ведений і дозволяє йому обертатися незалежно від маховика або бути нерухомим.

Перехідний режим – тертя ведучого і веденого дисків один об одного до моменту повної синхронізації їх обертання. Перехідний режим необхідний для плавного з'єднання двигуна і трансмісії в момент початку руху трактора і виключення в ній ударних динамічних навантажень при переході з однієї передачі на іншу.

В процесі роботи муфти зчеплення частина потужності, яку двигун передає трансмісії, перетворюється на теплову енергію. Така втрата потужності відбувається в результаті здійснення роботи буксування (тертя дисків зчеплення), необхідної для плавного з'єднання колінчастого валу двигуна, який постійно обертається, з первинним валом коробки передач, який може обертатися з різними швидкостями по відношенню до колінчастого валу, а також бути нерухомим.

З огляду на складність і значимість перехідного режиму по відношенню до двох інших, в математичному моделюванні перехідних процесів муфти зчеплення трактора був розглянутий саме цей режим роботи муфти зчеплення. Причиною стало те, що розглядається перехідний процес роботи здвоєного зчеплення у складі трансмісії трактора – тягової машини. Вибір параметрів процесу перемикання з одного зчеплення на друге суттєво впливає на техніко-економічні показники роботи трактора та на динаміку навантаження деталей трансмісії.

В ході виконання досліджень встановлено раціональні параметри процесу управління включенням зчеплень.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ПРИ КОСВЕННЫХ ЗАМЕРАХ ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИК

Сериков В.И.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

При проведении экспериментов для подтверждения адекватности математической модели или уточнения расчетных коэффициентов такой модели не всегда имеется возможность установки регистрирующего оборудования непосредственно в точках измерения интересующих величин. Использование замеров значений напряжения и силы тока на приводе может быть использовано как интегральная оценка параметров процессов в исследуемой механической системе.

В процессе работы над новой конструкцией был проведен ряд экспериментов, как натурных, так и численных. Для последних была составлена математическая модель.

Исходя из конструктивных особенностей механизма, регистрирующей аппаратурой фиксировались частота вращения вала электродвигателя, приводящего в движение механизм, напряжение, сила тока.

Полученные в результате проведения двух видов экспериментов численные значения были представлены в том числе и в графическом виде. Анализ графиков позволил сделать вывод о достаточном уровне совпадения расчетных и экспериментально полученных значений параметров. Расчетная кривая отличается от экспериментальной на 12-15%, что является достаточно достоверным совпадением для упрощенной модели. Кроме этого, необходимо отметить, что в процессе проведения эксперимента было обнаружено, что характеристики приводных электродвигателей отличаются.

Математическое ожидание погрешности вычислено по формуле:

$$M(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (1)$$

где n – число значений,

x_i – величина погрешности.

Значение математического ожидания погрешности составляет порядка 5% от номинального значения мощности двигателя.

АНАЛІЗ ДИНАМІЧНОЇ МІЦНОСТІ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА

Степук О.В., Марусенко С.І.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Одним з головних елементів приводу, який забезпечує працездатність локомотива, є тяговий електродвигун. Статистика відмов тягових двигунів за механічними причинами при експлуатації тягового рухомого складу становить 50%. В даний час актуальною задачею є пошук і створення оптимальних конструктивних рішень тягових двигунів нового покоління з поліпшеними динамічними характеристиками і характеристиками міцності ще на етапі їх проектування. Створення стендів і проведення на них випробувань дослідних зразків електродвигуна для визначення оптимальної конструкції і режимів роботи на стадії проектування вимагає великих витрат і часу. Тому спочатку доцільно проводити математичне моделювання.

Метою роботи було дослідження урахування впливу конструкційної анізотропії механічних частин на динамічну міцність при створенні електродвигунів нового покоління. Було запропоновано математичну модель тягового двигуна, яка враховує істотно різні механічні характеристики матеріалів конструктивних елементів статора, які призводять до його конструкційної анізотропії. Чисельну реалізацію такої моделі було проведено за допомогою методу скінченних елементів.

Математичне моделювання динамічного стану представлено для двох типів конструкції електродвигунів: з традиційним суцільнометалевим корпусом і шихтованим корпусом. Задача вирішувалася як в квазістатичній, так і в динамічній постановці.

Розв'язок скінченно-елементної динамічної задачі довів перевагу електродвигуна з шихтованим корпусом. Чисельні результати розрахунку показали значний вплив врахування конструкційної анізотропії статора електродвигуна на значення його власних частот і форм коливань, які їм відповідають. Відмінність величин власних частот без урахування конструкційної анізотропії статора становить 25%. Було знайдено нові форми коливань електродвигуна. Слід зазначити, що рівень максимальних еквівалентних напружень, які отримано при динамічній постановці задачі, відрізняється в три рази від значень еквівалентних напружень, які обчислено при розв'язанні задачі в квазістатичній постановці.

Для підтвердження адекватності запропонованої математичної моделі отримані чисельні результати порівнювалися з результатами експерименту.

Таким чином, проведені методом скінченних елементів чисельні дослідження підтвердили необхідність врахування конструкційної анізотропії при розрахунку характеристик жорсткості статора електродвигуна для визначення рівня його власної вібрації.

АВТОМАТИЗОВАНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ЛЕГКОБРОНЬОВАНИХ МАШИНАХ

**Ткачук Г. В.¹, Пелешко Є. В.², Заворотній А. В.³, Грабовський А. В.¹,
Мухін Д. С.¹, Петренко А. А.¹**

**¹Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,**

²ТОВ «БІР Україна», м. Одеса,

³ДП «Завод ім. Малишева», м. Харків

Об'єктом досліджень в роботі є динамічні процеси напружено-деформованого стану корпусів легкоброньованих машин (ЛБМ) при здійсненні пострілів із скорострільних артилерійських установок і русі по пересіченій місцевості. Мета – визначення конструктивних параметрів бронекорпусів, що забезпечують задані складові тактико-технічних характеристик захищеності, рухливості, точності стрільби проєктованих і модернізованих ЛБМ.

Для цього запропоновані і реалізовані нові підходи до забезпечення заданих тактико-технічних характеристик множини ЛБМ в процесі проєктування шляхом створення фізичних, математичних, геометричних і чисельних моделей, що описуються на основі єдиного наскрізного параметричного представлення і інтегруються природним чином у процес проєктування бойових машин. При цьому розроблена і реалізована нова технологія розрахунково-експериментального дослідження корпусів ЛБМ, що забезпечує, на відміну від раніше використовуваних, високу точність створюваних чисельних моделей і достовірність моделювання складних фізико-механічних процесів, що протікають в досліджуваних корпусах в процесі впливу зусиль віддачі при здійсненні пострілів із скорострільних артилерійських систем і реакції підвіски в широкому діапазоні варіювання конструкцій і режимів бойового застосування. Також запропонований і розроблений новий спосіб створення спеціалізованих параметризованих інтегрованих моделей корпусів бойових машин, що відрізняється тим, що він заснований на застосуванні формального теоретико-множинного опису конструкцій корпусів та їх моделей.

Розроблено сімейство спеціалізованих параметризованих інтегрованих геометричних і скінченно-елементних моделей корпусів БТР-70, БТР-80, БТР-94Б, БТР-3Е, БТР-4, Дозор, БРДМ, МТ-ЛБ, БМП-2 в середовищі Pro/ENGINEER (Creo), яке може стати основою галузевої бази даних бронекорпусів бойових машин.

Достовірність результатів теоретичних досліджень напружено-деформованого стану корпусних елементів ЛБМ підтверджується їх відповідністю результатам експериментальних досліджень і чисельних досліджень із застосуванням інших моделей. Достовірність виконаних досліджень в цілому і практичних рекомендацій на їх основі підтверджується тим, що в модернізованих бойових машинах забезпечується достатня міцність і жорсткість корпусів, що дозволило підвищити тактико-технічні характеристики бронетранспортерів.

КОНТАКТНА ВЗАЄМОДІЯ СКЛАДНОПРОФІЛЬНИХ ТІЛ ІЗ УРАХУВАННЯМ НЕЛІНІЙНОГО ПРОМІЖНОГО ПРУЖНОГО ШАРУ

**Ткачук Г. В.¹, Скріпченко Н. Б.¹, Ткачук М. М.¹, Грабовський А. В.¹,
Саверська М. С.¹, Литвиненко О. В.¹, Костенко Ю. В.²**

**¹Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків,**

²ТОВ «БІР Україна», м. Одеса

Широке розповсюдження складнопрофільних тіл (СПТ) у машинобудівних конструкціях висуває на перший план розробку методів аналізу їх контактної взаємодії і геометричного синтезу. Мета цієї роботи полягає у розробці та реалізації методів розв'язання зв'язаної задачі аналізу напружено-деформованого стану (НДС) з урахуванням контактної взаємодії і геометричного синтезу складнопрофільних елементів машинобудівних конструкцій з урахуванням властивостей нелінійно пружного проміжного шару на основі параметричного опису та інтеграції розрахункових моделей різного рівня.

З цією метою у роботі використовуються метод Герца, метод скінченних елементів і метод граничних елементів для моделювання контактної взаємодії СПТ. Для визначення зон контакту і контактного тиску застосовувалися методи варіаційних нерівностей, варіаційний принцип Калькера, методи опуклого програмування, методи колокації та активних обмежень. У результаті удосконалено метод розв'язання зв'язаної задачі аналізу НДС з урахуванням контактної взаємодії і синтезу спряжених поверхонь тіл з урахуванням властивостей нелінійно пружного проміжного шару. Крім того, одержав подальший розвиток метод параметричного моделювання спряжених поверхонь, який полягає в алгоритмічному описі поточних варіантів на основі розв'язання спеціальної задачі геометричного синтезу за тими ж рівняннями, що й задачі аналізу. У роботі був модифікований варіаційний принцип Калькера з урахуванням властивостей нелінійно пружного проміжного шару.

Таким чином, розроблений і реалізований алгоритм розв'язання практично важливих задач розрахунку НДС при проектуванні елементів конструкцій з урахуванням властивостей нелінійно пружного проміжного шару. На прикладі розв'язання конкретних задач отримані рекомендації з проектування дослідних зразків гідрооб'ємних та двохпараметричних передач, силових ланцюгів, які привели до створення працездатних конструкцій з високими технічними характеристиками, що підтверджує ефективність запропонованого в роботі підходу та його практичну застосовність для розв'язання задач обґрунтування проектних параметрів широкого класу контактуючих тіл з урахуванням властивостей нелінійно пружного проміжного шару. Досягнуті результати дають підстави для висновку про те, що здійснено обґрунтування методів розв'язання контактної задачі, їх реалізація та отримання результатів чисельних досліджень; розробка структури і реалізація програмно-модельного комплексу для геометричного синтезу і аналізу НДС шуканих складнопрофільних тіл з урахуванням властивостей нелінійно пружного проміжного шару.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТАКТИКО-ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕГКОБРОНЬОВАНИХ МАШИН НА ОСНОВІ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У БРОНЕКОРПУСАХ

**Ткачук М. А.¹, Пелешко Є. В.², Малакей А. М.³, Танченко А. Ю.¹,
Васильєв А. Ю.¹, Бугай М. І.¹**

**¹Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,**

²ТОВ «БІР Україна», м. Одеса,

³ДП «Завод ім. Малишева», м. Харків

У світовому бронетанкобудуванні на сьогодні приділяється велика увага проектуванню і випуску легкоброньованих машин (ЛБМ). Цьому сприяє характер бойових дій, що носить у багатьох випадках участь у регіональних конфліктах, антитерористичних та миротворчих операціях. При цьому на перший план виступають такі характеристики як рухливість, досить низька вартість, можливість створення на базі одного шасі декількох модифікацій ЛБМ. Крім того, найважливішою обставиною на користь ЛБМ виступає можливість їх модернізації до рівня сучасних вимог за тактико-технічними характеристиками (ТТХ) шляхом установки нових бойових модулів, силових агрегатів, систем управління тощо.

Виходячи із зазначених обставин, можна констатувати надзвичайно високу потенційну і реальну потребу Збройних сил України та інших країн у проектуванні (у тому числі модернізації) ЛБМ з метою досягнення високих ТТХ рухливості, озброєності, захищеності. Специфіка виникаючих при цьому складних задач полягає в тому, що для досягнення заданих ТТХ потрібне проведення великої кількості експериментальних, аналітичних, чисельних досліджень фізико-механічних процесів, які супроводжують процес експлуатації і бойового застосування цих машин. Оскільки, як уже зазначалося, у розробці можуть перебувати декілька типів машин одночасно, причому кожна в декількох модифікаціях, а режими бойового застосування є досить різноманітними, то це тягне за собою при чисельному моделюванні ситуацію «лавина моделей» і «лавина режимів бойового застосування». У зв'язку з цим виникає масштабна науково-технічна проблема, яка полягає в необхідності, з одного боку, інтенсифікації та підвищення якості проектування з метою забезпечення високих ТТХ ЛБМ, а з іншого – у відсутності теоретичних розробок, алгоритмів і програмно-модельного забезпечення розв'язання цих задач в сучасних умовах. Зокрема, однією зі складових цієї проблеми є актуальна і важлива задача забезпечення заданих ТТХ проєктованих ЛБМ на основі нових підходів до моделювання динамічних процесів і напружено-деформованого стану сімейства бронекорпусів як найбільш відповідальних і навантажених елементів конструкції при дії зусиль віддачі в процесі здійснення пострілів із скорострільних артилерійських систем та дії сил від підвіски. Розв'язанню цієї задачі на основі моделювання динамічних процесів у бронекорпусах присвячена ця робота.

СТРУКТУРА СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ЛЕГКОБРОНЬОВАНИХ МАШИНАХ

**Ткачук М. А.¹, Пелешко Є. В.², Хлань О. В.³, Грабовський А. В.¹,
Куценко С. В.¹, Мицай К. Г.¹**

**¹Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,**

²ТОВ «БІР Україна», м. Одеса,

³ДП «Завод ім. Малишева», м. Харків

Проблема обґрунтування проектних, технологічних і виробничих рішень для елементів легкоброньованих машин (ЛБМ) багато в чому стримується необхідністю глибоких досліджень процесів і станів, які реалізуються у цих елементах у процесі виготовлення, експлуатації та бойового застосування. На сьогоднішній день для розв'язання задач такого типу отримав широкий розвиток підхід, заснований на створенні спеціалізованих інтегрованих систем автоматизованого моделювання конкретних об'єктів і не націлений на оперативне дослідження множини об'єктів. Цей недолік особливо відчутний на ранніх етапах проектних робіт, коли навіть для певної конструкції проектованої ЛБМ можуть розглядатися і досліджуватися кілька принципових концептуальних варіантів. Це і обумовлює надзвичайну актуальність створення експрес-систем (ЕС) та експрес-моделей (ЕМ) для аналізу і синтезу корпусів ЛБМ. Від цих ЕС і ЕМ потрібно вбудовування в реальний процес проектування. При цьому саме з використанням цих ЕС і ЕМ закладаються основні тактико-технічні характеристики проєктованих бойових машин. Найбільш перспективним підходом до вирішення цього завдання є створення спеціалізованих параметризованих інтегрованих моделей і засобів сполучення їх із потужними універсальними CAD/CAM/CAE-системами. Цей напрямок у вітчизняній і зарубіжній літературі не освітлено, теоретичні та практичні напрацювання практично повністю відсутні.

Таким чином, сформульована задача передбачає теоретичні розробки, спрямовані на створення методів моделювання та програмно-модельного комплексу для дослідження напружено-деформованого стану (НДС) сімейств корпусів ЛБМ при дії зусиль віддачі при здійсненні пострілів із бойових модулів. Розв'язання даної задачі безпосередньо забезпечує задані складові тактико-технічних характеристик ЛБМ за захищеністю, рухливістю, точністю стрільби.

Метою роботи є забезпечення заданих тактико-технічних характеристик рухливості, точності стрільби, захищеності ЛБМ при проектуванні і модернізації шляхом забезпечення масових, міцнісних і жорсткісних характеристик їхніх корпусів при підвищених навантаженнях від зусиль віддачі в процесі стрільби за рахунок науково-обґрунтованого вибору конструктивних параметрів із застосуванням створюваного спеціалізованого програмно-модельного комплексу. Він націлений на моделювання динамічного НДС бронекорпусів та забезпечення відповідних критеріальних вимог.

БАЗОВІ ПІДХОДИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕАКЦІЇ ВОЛОКОННИХ МАТЕРІАЛІВ НА ЗОВНІШНЄ НАВАНТАЖЕННЯ

Ткачук М. М.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Забезпечення конструкційної міцності елементів машин військового і цивільного призначення часто вимагає залучення нових моделей поведінки матеріалів для більш адекватного і точного розрахунку напружено-деформованого стану. Ця обставина диктується широким використанням і прогресуючої розробкою сучасних матеріалів, в т.ч. волокнистої структури, кераміки, металокераміки, багатошарових композицій тощо. Традиційні моделі не підходять для опису їх поведінки. Крім того, сучасний феноменологічний підхід у цьому випадку є недостатнім, тому що дає інформацію тільки для конкретного типу матеріалу в заданих умовах роботи і у скінченному діапазоні навантажень. У той же час перед механікою постають у цьому розрізі ширші завдання: визначення тенденцій зміни фізико-механічних характеристик залежно, наприклад, від складу і будови ланцюжків волоконних наповнювачів; створення композиційних матеріалів із заданими властивостями; пояснення часто неочевидних тенденцій у зміні фізико-механічних властивостей матеріалів при зміні хімічного складу, температури, технології виготовлення тощо. Всі ці обставини висувають на перший план мікромеханічні підходи, які надають можливості розрахунку макрохарактеристик на основі розгляду поведінки мікроструктури матеріалу аж до моделей статистичної механіки волоконних ланцюжків. На теперішній час у світі цьому напрямку досліджень приділяється широка увага. Однак розроблені до теперішнього часу підходи дають результати, що не повною мірою відповідають експериментальним даним і даним практичної експлуатації. Це пов'язано зі складнощами математичного моделювання поведінки статистично представницьких ансамблів, наприклад, волоконних ланцюжків або ниток матеріалу в матриці та у взаємодії з іншими нитками (наприклад, у так званих нетканих матеріалах). Таким чином, розробка нових підходів та формування на їх основі нових нелінійних математичних моделей для більш адекватного опису властивостей матеріалів шляхом аналізу їх поведінки на рівні статистичної механіки ансамблів волоконних ланцюжків, ниток, мікрозерен та тонких шарів є актуальною науково-технічною проблемою.

Мета роботи – визначити шляхи підвищення службових властивостей елементів військової та цивільної техніки на основі створення теоретичних засад статистичної механіки волоконних матеріалів і формулювання математично строгих та фізично адекватних моделей поведінки множини мікрооб'єктів, що деформуються та взаємодіють між собою, а також визначення перспектив напрямку із розроблення варіаційних постановок задач дослідження таких статистичних ансамблів та нових моделей гомогенізації властивостей при переході з мікро- на макрорівень. Для досягнення поставленої мети виконано аналіз фундаментальних теоретичних досліджень, здійснено порівняння методів і моделей для аналізу поведінки композиційних матеріалів.

ОБҐРУНТУВАННЯ НОВИХ ПІДХОДІВ ДО ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ ЕЛЕМЕНТІВ МАШИНОБУДІВНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ОСНОВІ МІКРОСТРУКТУРНИХ МОДЕЛЕЙ ПОВЕДІНКИ МАТЕРІАЛУ

**Ткачук М. М.¹, Грабовський А. В.¹, Скріпченко Н. Б.¹,
Гусєв Ю. Б.², Барчан Є. М.²**

**¹Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків,
²НІЦ КК «Рейлтрансхолдінг», м. Маріуполь**

Незважаючи на всі переваги традиційних підходів до створення моделей волоконних матеріалів, є досить очевидним, що обмеження афінними деформаціями є занадто жорсткими для неупорядкованих мереж з безліччю ступенів свободи. Про недосконалість використовуваних припущень свідчать також і експериментальні дані, а також результати дискретного моделювання випадкових мереж. Істотна неафінність мікродеформацій у матеріалах з волокнистою мікробудовою викликана особливостями механічного відгуку волокон та їх взаємодії в мережі одночасно з неоднорідністю і нерегулярністю дискретної мікроструктури, що містить безліч ступенів вільності. Ця внутрішня свобода передбачає можливість для волоконної мережі слідувати макроскопічній деформації багатьма способами, відмінними від афінної траєкторії. Визначення адекватних кінематичних співвідношень становить головне завдання мікомеханічних обґрунтованих моделей для м'яких матеріалів із мережевою мікробудовою. Існує кілька підходів до урахування неафінних деформацій мікрОВОЛОКОН. Найпростіші з них штучно подають матеріал у точці еквівалентною тривимірною структурою. Ця структура може складатися з трьох груп волокон, орієнтованих уздовж головних напрямків деформації, або чотирьох, спрямованих в кути піраміди, або восьми, розташованих на діагоналях куба. Остання набула найбільшого поширення завдяки простоті виразу щодо першого інваріанта тензора деформацій, а також високій точності наближення реальної поведінки гуми при малих і великих ушкодженнях. Проте, такі штучні конструкції, які представляють деформації мереж, істотно обмежують коло властивостей, які можна за їх допомогою змодельовати. Набагато більш універсальною виявилася відома неафінна модель мікросфери, яка розглядає повний простір орієнтацій волокон, однак, на відміну від раніше запропонованих підходів, при цьому відмовляються від прямих співвідношень між макроскопічною деформацією і мікроскопічними деформаціями волокон. Осьове подовження при цьому визначається як невідома функція на мікросфері орієнтацій, варіація якої обмежується кінематичними умовами зв'язку. Запропоноване кінематичне співвідношення засноване на феноменологічних міркуваннях без відповідного фізичного обґрунтування та містить штучний додатковий параметр. Таким чином, як видно із описаного аналізу, натепер не існує єдиного підходу у моделюванні матеріалів з мережевою мікроструктурою. Це призводить до необхідності розвитку нових підходів. Наприклад, як варіант пропонується подальше вдосконалення запропонованого варіаційного підходу до гомогенізації матеріалів з сітчастою будовою, пов'язаного з уточненням кінематичних мікро- і макроспіввідношень.

РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ СКЛАДНОПРОФІЛЬНИХ ТІЛ ЗА НАЯВНОСТІ МІЖ НИМИ НЕЛІНІЙНО ПРУЖНОГО ШАРУ

Ткачук М. М., Скріпченко Н. Б., Грабовський А. В.,

Петренко А. А., Васильєва Т. О.

Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут», м. Харків

У роботі розв'язана задача аналізу напружено-деформованого стану (НДС) складнопрофільних елементів машинобудівних конструкцій з урахуванням контактної взаємодії за наявності між ними нелінійно пружного шару. Це зумовило особливості розв'язання задачі визначення НДС цих тіл при їх контактній взаємодії. Запропоновано для аналізу контактної взаємодії цих тіл застосувати різнорівневі за точністю та трудомісткістю моделі: модель Герца; метод граничних інтегральних рівнянь та метод скінченних елементів.

Для експериментального визначення контактних зон і тиску в спряженнях досліджуваних складнопрофільних тіл (СПТ) був використаний метод контактних відбитків, який відрізняється тим, що може бути застосований як на макетних зразках, так і на реальних виробах, як в лабораторних, так і у виробничих умовах, як для низького, так і для високого тиску. Ця технологія була доповнена оригінальним авторським алгоритмом і програмними модулями для розпізнавання контактних відбитків та їх розшифровки, що істотно підвищує точність і оперативність проведення досліджень. Проведені комплексні дослідження контактної взаємодії ланок силового ланцюга, двохпараметричної передачі і кульового поршня з біговою доріжкою радіальної ГОП показали повну якісну відповідність прогнозованої розрахунково та зафіксованої експериментально поведінки контактних зон і тиску при варіюванні місця контакту, зусиль або конструктивних параметрів.

Похибка числового моделювання контактної взаємодії досліджуваних СПТ за наявності між ними нелінійно пружного шару порівняно з експериментальними даними не перевищує в цілому 11 %. Це свідчить про важливість практичного використання створених спеціалізованих програмно-модельних комплексів у ході науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт при проектуванні та технологічній підготовці виробництва широкого класу нових машин, що містять тіла за наявності між ними нелінійно пружного шару.

Комплекс рекомендацій, вироблених у ході виконання досліджень створених моделей, був покладений в основу при проектуванні, призначенні технологічних режимів виготовлення і умов експлуатації силових ланцюгових приводів, двохпараметричних передач та радіальних гідропередач.

Підтверджені якісні та кількісні ефекти зміни розподілу контактних зон і тиску при варіюванні геометричної форми спряжених поверхонь. Таким чином, отримано повне підтвердження адекватності математичних моделей, обґрунтованості вибору методів числових досліджень, відповідності створених моделей, а також достовірність і точність одержаних результатів.

ПРИКЛАДНІ ЗАДАЧІ АНАЛІЗУ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ СКЛАДНОПРОФІЛЬНИХ ТІЛ ЗА НАЯВНОСТІ МІЖ НИМИ НЕЛІНІЙНО ПРУЖНОГО ШАРУ

Ткачук М. М.¹, Скріпченко Н. Б.¹, Луньов Є. О.¹, Головченко В. І.²

¹*Національний технічний університет*

«Харківський політехнічний інститут», м. Харків,

²*ПрАТ «ГСКТІ», м. Маріуполь*

У роботі описане розв'язання прикладних задач аналізу контактної взаємодії і геометричного синтезу складнопрофільних тіл за наявності між ними нелінійно пружного шару. Вибір об'єктів досліджень при цьому був зумовлений реальними потребами заводів, НДІ та КБ, що проектують і виробляють машини із складнопрофільними деталями. Зокрема, здійснене геометричне та скінченно-елементне (СЕ) моделювання напружено-деформованого стану (НДС) коліс двохпараметричних передач (ДПП) з урахуванням контактної взаємодії на прикладі частинного варіанту циліндро-конічної передачі. Перед проведенням власне СЕ моделювання кожного разу розв'язується задача синтезу геометрії робочих поверхонь зубців ДПП. Це окрема складна нелінійна задача, в якій одночасно зі встановленням найбільш навантажених ділянок робочих поверхонь зубців представляє інтерес вплив геометричних параметрів на характеристики контакту. Отриманий вигляд контактних плям у спряженні зубців коліс при різних їх положеннях якісно узгоджується із загальним характером зміни ступеню витягнутості контактних площадок для всіх передач даного типу. Таким чином, навіть проста герцевська модель контактної взаємодії в межах запропонованого підходу дозволяє одержувати цінні кількісні та якісні результати, що дає можливість здійснити оцінку міцності зубчастої передачі на етапі синтезу її параметрів. Визначені частки поверхні, які несуть найбільшу контактну навантаженість та надалі можуть бути досліджені додатково іншими методами. Розв'язана також задача аналізу контактної взаємодії кульового поршня з біговою доріжкою в радіальній гідрооб'ємній передачі (ГОП). Розглянуто досить загальний клас профілів бігових доріжок на кільці статора. Профіль бігової доріжки в центральній своїй частці є дугою кола радіуса R_c з кутовою величиною 2θ . Таким чином, середня частка бігової доріжки є жолобом тороїдальної форми, по якому перекочується поршень при обертанні ротора. Радіуси жолоба і поршня передбачається робити близькими для того, щоб зменшити первинний зазор між поршнем і біговою доріжкою в поперечному напрямі. У результаті форма бігової доріжки як поверхні обертання повністю визначається параметрами, вплив яких на характер контактної взаємодії поршня з кільцем статора за відсутності тертя і локальний НДС демонструється результатами розрахунків, проведених різними методами. Із аналізу результатів випливає, що форма розглянутих поперечних профілів зумовлює характер розподілу контактного тиску, суттєво відмінний від герцевського, що необхідно враховувати при виборі значень радіусу центральної частки бігової доріжки статора ГОП та інших її конструктивних параметрів. Одержані в ході розв'язання описаних задач результати підтвердили ефективність, точність та адекватність запропонованих підходів, методів і моделей до дослідження НДС складнопрофільних тіл за наявності між ними нелінійно пружного шару.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ І МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ ЕЛЕМЕНТІВ МАШИНОБУДІВНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ОСНОВІ МІКРОСТРУКТУРНИХ МОДЕЛЕЙ ПОВЕДІНКИ МАТЕРІАЛУ

Ткачук М. М., Скріпченко Н. Б., Пархоменко А. С., Погребняк Д. А.

***Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків***

У роботі проведено аналіз методів і моделей мікромеханіки волоконних мереж. Мережеві мікроструктури властиві багатьом матеріалам штучного, а також природного походження. Еластомери, гідрогель і м'які біологічні тканини, неткані матеріали та піни – усі ці матеріали на мікроскопічному рівні складаються з подовжених одновимірних елементів, які можна в цілому охарактеризувати як волокна. Завдяки цій будові вони можуть набувати унікальних властивостей, здатності розтягуватися зі збереженням міцності. Коли ці м'які матеріали піддаються макроскопічній деформації, відповідним чином деформується і мікроструктура. Сили, що створюються деформованими нитками, а також їх взаємодія всередині нерегулярної тривимірної мережі, складають макроскопічний відгук матеріалу, що в свою чергу визначається механічними напруженнями. Відповідно, знання про мікромеханіку випадкових мереж є вкрай важливим для розуміння таких механічних властивостей, як еластичність, що демонструються вищевказаними м'якими матеріалами. Ці, мережі, по суті, є дискретними механічними системами, де окремі волокна є основними структурними одиницями. Існуючі теорії та моделі випадкових мереж у літературі можна класифікувати, розділивши на декілька категорій. Перша категорія містить у собі дискретні моделі, які відтворюють мікроструктуру в деталях. Такий підхід дає можливість досліджувати мережі різної природи і виявляти вплив різних специфічних явищ, таких як ентропійний та ентальпійний відгук волокон на осьове розтягнення або їх вигин, початкові внутрішні напруження або теплові флуктуації місць з'єднань волокон. Моделювання мікромережі забезпечує глибоке розуміння мікроскопічних механізмів, які відповідають за загальну макроскопічну поведінку цих м'яких матеріалів. Тим не менш, вони часто вимагають великих обчислювальних витрат, а їх результатам властива статистична похибка, яка відрізняється від однієї випадково генерованої мережі до іншої. Завдяки простоті афінних співвідношень у багатьох випадках можливо обчислити осереднені напруження як функцію макроскопічних деформацій у аналітичній формі. Одночасно з цим навколо афінної кінематики мікродеформацій волокон побудовано багато чисельних моделей, переважно об'єднаних загальним підходом. Він полягає в тому, що сукупність волокон у сітчастій мікроструктурі асоціюється із простором їх орієнтацій у деформованій конфігурації, так званій мікросфері. Кожна окрема точка на цій сфері визначає одиничний вектор первинної орієнтації певної частки волокон у мікроструктурі. Якщо прийняти припущення, що поведінка однаково орієнтованих волокон збігається, тоді всі мікроскопічні величини можна розглядати як однозначні функції, визначені на мікросфері.

**ФОРМУВАННЯ ЄДИНОЇ РОЗВ'ЯЗУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ
СПІВВІДНОШЕНЬ ДЛЯ АНАЛІЗУ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ
СКЛАДНОПРОФІЛЬНИХ ТІЛ ЗА НАЯВНОСТІ МІЖ НИМИ
НЕЛІНІЙНО ПРУЖНОГО ШАРУ**

**Ткачук М. М., Скріпченко Н. Б., Саверська М. С., Бондаренко М. О.,
Зарубіна А. О., Кохановська О. В., Храмцова І. Я., Бондаренко Л. М.**

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Пропонується підхід до формування єдиної розв'язувальної системи співвідношень для аналізу контактної взаємодії складнопрофільних тіл за наявності між ними нелінійно пружного шару. Він базується на модифікації варіаційного принципу Калькера. Шуканий розподіл контактного тиску апроксимується кусочно-лінійними функціями, що задані на трикутній сітці, яку накинута на поверхню можливого контакту. Для вузлів на цій сітці записуються умови сумісності переміщень та невід'ємності контактного тиску. Сформована система рівнянь та нерівностей у дискретизованому вигляді.

Застосовується наступний підхід. Для отримання чисельного розв'язку функція p наближається суперпозицією масиву пірамідальних елементарних розподілів на регулярній сітці з кроком s із рівносторонніх трикутників і повністю визначається дискретним набором вузлових значень. Для знаходження p_n використані: прямий метод (або колокацій); варіаційний метод (принцип Калькера).

Запропонований перспективний підхід до розв'язання зв'язаної задачі дослідження напружено-деформованого стану з урахуванням контактної взаємодії складнопрофільних тіл за наявності між ними нелінійно пружного шару, що базується, на відміну від традиційного підходу, на єдиному описі математичної, геометричної і чисельної моделей. Досліджено контакт тіл, форма яких може бути заздалегідь не визначена, як у традиційному випадку, а встановлюється у ході розв'язання спеціальної задачі їх геометричного синтезу за тими ж умовами контактного сполучення у вигляді хмари зв'язаних точок, як і при розв'язанні задачі аналізу. Розвинено метод граничних інтегральних рівнянь у частині більш точного визначення коефіцієнтів матриці та правих частин системи визначальних рівнянь за наявності проміжного шару між тілами.

Установлено закономірності розподілу контактного тиску та контактних зон у спряженні цих тіл. Вони у багатьох випадках різко відмінні від традиційних герцевських розподілів.

Таким чином, поставлена та розв'язана науково-практична задача вдосконалення методів аналізу напружено-деформованого стану складнопрофільних тіл з урахуванням контактної взаємодії, а також геометричного синтезу їх кінематично генерованих поверхонь.

СТРУКТУРА СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО ПРОГРАМНО-МОДЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ АНАЛІЗУ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ СКЛАДНОПРОФІЛЬНИХ ТІЛ ЗА НАЯВНОСТІ МІЖ НИМИ НЕЛІНІЙНО ПРУЖНОГО ШАРУ

Ткачук М. М., Ткачук М. А., Грабовський А. В., Скріпченко Н. Б.,
Саверська М. С., Черкашин А. О.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків*

Для аналізу контактної взаємодії складнопрофільних тіл за наявності між ними нелінійно пружного шару пропонується створення спеціалізованого програмно-модельного комплексу. Основною характерною особливістю складнопрофільних тіл є складність їхнього опису прийнятим на даний час в CAD/CAE-системах способом, що відповідає наступним етапам: 1) будується поверхня S_M як дискретний набір точок $M_p, p = 1, \dots, N_M$, що наближають у цих точках ідеальну поверхню S_{id} (припускається похибка ε_M); 2) на побудовану хмару точок натягується деяка поверхня S_{ap} , через характер апроксимації якої припускається похибка ε_{ap} у визначенні поточної точки M_{ap} загального положення (у тому числі й вузлів скінченних елементів (СЕ): $|M_{ap} - M_{id}| \leq \varepsilon_{ap}(M_{ap}), M_{ap} \in S_{ap}, M_{id} \in S_{id}$; отримана поверхня S_{ap} розбивається в напів- або автоматичному режимі на СЕ, причому грані останніх (S_G), що виходять всіма своїми вузлами на поверхню S_{ap} , відхиляються в своїх межах від неї на величину ε_e . Відповідно при проходженні цього ланцюжка накопичується похибка наближення точної поверхні так, що сумарна похибка складає $\varepsilon_\Sigma = |\varepsilon_M| + |\varepsilon_{ap}| + |\varepsilon_e|$. Як альтернатива такому підходу пропонується алгоритм напівавтоматичної генерації топологічно регулярних сіток тіл, що передбачає генерування топологічно регулярної сітки вузлів СЕ з використанням властивостей контактної поверхні практично з будь-якою наперед заданою точністю на поверхні S_{id} , заданої у цьому випадку в своїх природних координатах; створення множини СЕ, що повністю або в основному складається з шестигранників. У даному випадку можна нехтувати похибкою ε_M , і величина загальної похибки визначається лише ступенем відхилення форми „граневої” поверхні S_G від ідеальної S_{id} . Та хоча і в цьому випадку важко отримати апіорну оцінку ε_e , можна отримати практично точну апостеріорну: $\varepsilon_e \approx |IG| = |\mathbf{r}_G(\kappa_1, \kappa_2) - \mathbf{r}_{id}(\kappa_1, \kappa_2)|$, де \mathbf{r}_{id} – радіус-вектор точки I на ідеальній поверхні, а \mathbf{r}_G – на перетині S_G з нормаллю до S_{id} в точці I .

Для обчислення відхилення ε_e поверхні граней згенерованих СЕ від „ідеальної” поверхні S_{id} використовуються точні значення координат точок цієї поверхні, розташованих усередині грані. У результаті стає принципово можливою побудова набору вузлів, що задають скінченно-елементну модель, яка апроксимує контактну поверхню із наперед заданою точністю.

СТРУКТУРА ЧИСЛЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОРПУСОВ ЛЕГКОБРОНИРОВАННЫХ МАШИН

Ткачук Н. А., Грабовский А. В., Лисовол Я. Н., Куценко С. В.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», г. Харьков*

Для решения актуальной научно-технической задачи исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) корпусов легкобронированных машин (ЛБМ), в частности – бронетранспортеров (БТР), был привлечен подход, основанный на использовании широкого спектра современных высокоэффективных методов, алгоритмов и программного обеспечения. В частности, в качестве базового использован наиболее мощный инструмент дискретизации задач математической физики – метод конечных элементов. Для построения пространственных моделей элементов легкобронированных машин привлечен прогрессивный метод параметризации твердотельных и поверхностных моделей. Постановка задачи представлена в достаточно общем виде, включающем в себя разрешающие уравнения пространственной теории упругости с учетом динамических явлений. В качестве основы исследований представлен разработанный комплексный подход к исследованию НДС корпусов ЛБМ с целью рационального выбора их конструктивных параметров для обеспечения высоких тактико-технических характеристик проектируемых и модернизируемых машин. Предложенный подход соединяет преимущества параметрического моделирования, универсальности и учета специфики исследуемых конструкций, специализированного программного обеспечения, а также классического метода конечных элементов. При этом предложены: 1) общая постановка задачи исследования НДС корпуса ЛБМ как составного элемента сложной механической системы; 2) схема разделения исследуемой машины на подконструкции и соответствующее разделение исходной задачи на подзадачи; 3) интегрированная схема построения конечно-элементной модели корпусов исследуемых машин на основе принципов параметричности, интегрируемости (т.е. совмещения проектных и расчетных этапов, а также использование различных CAD и CAE) и применения наряду с универсальными проектно-расчетными программными пакетами и специализированных расчетных модулей; 4) схемы моделирования статических, динамических и импульсных воздействий на корпус ЛБМ; 5) параметризованные конечно-элементные модели корпуса проектируемых и модернизируемых бронетранспортеров.

Предложенный комплекс методов, алгоритмов и программного обеспечения позволяет решать задачу определения НДС корпусов ЛБМ с учетом всего множества факторов внешнего воздействия. Разработанные модели позволяют проводить структурную и параметрическую оптимизацию корпусов ЛБМ. Предложенная схема исследований органично встраивается в процесс проектирования, технологической подготовки производства и изготовления, причем позволяет оперативно оценивать прочностные и жесткостные характеристики корпусов БТР и других ЛБМ и соответственно корректировать конструктивные параметры и схемы конструктивных решений.

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОРПУСОВ
ПРОЕКТИРУЕМЫХ И МОДЕРНИЗИРУЕМЫХ
БРОНЕТРАНСПОРТЕРОВ: МОДУЛЬНАЯ СТРУКТУРА**

**Ткачук Н. А.¹, Малакей А. Н.², Грабовский А. В.¹,
Ананьин Е. С.¹, Головин А. М.¹**

**¹Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
²ГП «Завод имени В. А. Малышева», г. Харьков**

Некоторые элементы бронетранспортеров (БТР) не могут быть промоделированы при помощи уравнений линейной теории упругости, некоторые подчиняются закономерностям для других сред и моделей. Так, для исследования поведения амортизатора необходимо проводить анализ перетекания рабочей жидкости между полостями. Поведение шины требует при моделировании рабочих процессов учета больших перемещений материала в зоне сопряжения с грунтом, а также действие внутреннего давления воздуха. В то же время некоторые элементы находятся в сложном кинематическом и силовом взаимодействии. Например, башня по отношению к корпусу может находиться в различных положениях. Ее воздействие на корпус зависит как от углов стрельбы, так и от характеристик распределения усилий отдачи во времени (что, в свою очередь, зависит от параметров размещенного в башне вооружения и режимов стрельбы). Таким образом, задача определения напряженно-деформированного состояния БТР как единой механической системы естественным образом разделяется на 2 подзадачи, а сам БТР при этом представим в виде двух подсистем. Предложена схема разделения БТР как единой механической системы на подсистемы. Первая подсистема представляет собой собственно корпус БТР (условно назовем ее КБТР). Вторая подсистема содержит все остальные основные элементы (условно обозначаем ЭБТР). Характерной особенностью структуры данного разбиения является то, что элементы подсистемы ЭБТР взаимодействуют друг с другом в основном опосредованно через КБТР. Сам корпус замыкает на себе все силовые потоки в системе, а также определяет в основном текущее положение БТР в пространстве и кинематическую связь взаиморасположения остальных его элементов. Кроме того, такое разделение БТР на подсистемы характеризуется следующими свойствами: корпус БТР, перемещаясь и деформируясь в пространстве, сохраняет в течение всего периода эксплуатации высокую жесткость; башня БТР является источником силового воздействия, имеющего 3 основных составляющих: статическое воздействие силы веса башни; динамическое воздействие, вызываемое силами инерции при неравномерном движении; импульсное воздействие усилий стрельбы; силовой агрегат, трансмиссия, а также все грузы, размещенные внутри БТР, оказывают 2 вида воздействия: статическое (сила веса) и динамическое (силы инерции); система поддрессоривания с колесами оказывает 2 типа воздействий на корпус: статическое (силы реакций на весовую нагрузку корпуса и остальных узлов, систем и агрегатов БТР) и динамическое (от кинематического воздействия неровностей рельефа, преобразованное в цепочке шина-колесо-торсион-амортизатор).

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОРПУСОВ
ПРОЕКТИРУЕМЫХ И МОДЕРНИЗИРУЕМЫХ
БРОНЕТРАНСПОРТЕРОВ: ОБЩАЯ ПОСТАНОВКА**

**Ткачук Н. А.¹, Малакей А. Н.², Грабовский А. В.¹,
Ананьин Е. С.¹, Головин А. М.¹**

**¹Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
²ГП «Завод имени В. А. Малышева», г. Харьков**

При определении напряженно-деформированного состояния (НДС) корпусов проектируемых и модернизируемых бронетранспортеров (БТР) с целью рационального выбора их конструктивных параметров для обеспечения высоких тактико-технических характеристик необходимо учитывать: сложность геометрической формы корпуса, который представляет собой пространственную конструкцию, состоящую из множества пластин, стержней, массивных элементов; сложность БТР как механической системы взаимодействующих систем, узлов и агрегатов; многообразие режимов эксплуатации и условий боевого применения; возможность применения конструкции модернизируемого объекта с установкой новых типов силового агрегата, трансмиссии, вооружения и т.д. Все перечисленные факторы в совокупности приводят к формулировке исходной задачи как к пространственной задаче для механической системы сложной структуры при воздействии на нее в общем случае статических, динамических и импульсных сил, а также кинематического нагружения. В связи с этим необходимо решить целый комплекс задач: 1. Сформулировать задачу определения НДС корпуса как составного элемента конструкции БТР. 2. Провести дискретизацию задачи. 3. Разработать общую схему решения задачи определения НДС корпусов БТР. 4. Разработать дискретную модель корпусов бронетранспортеров.

Общая постановка задачи определения НДС корпусов БТР – первый из этапов решения сформулированной комплексной задачи.

БТР рассматривается как единая механическая система, состоящая из корпуса, на котором смонтированы системы, агрегаты и узлы. Введем в рассмотрение также подвижную декартову прямоугольную систему координат, «вмороженную» в бронетранспортер в начальный момент исследуемого процесса. В этой связанной системе координат произвольная точка характеризуется ее радиус-вектором.

Для такой сложной механической системы необходимо проводить модификацию разрешающей системы уравнений теории упругости. Это вызвано тем, что только некоторые элементы нецелесообразно моделировать с использованием полной системы уравнений пространственной задачи теории упругости. Большинство элементов корпуса представимы в виде пластинчато-стержневых конструкций. Работу торсионов достаточно точно описывает модель стержня, сопротивляющегося действию крутящего момента. Вертикальные стойки внутри корпуса представляют собой стержни, находящиеся под действием сжимающих (растягивающих) сил и изгибающих моментов и т.д. Совокупность всех систем уравнений формируют комплексную математическую модель НДС корпуса БТР.

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОРПУСОВ
ПРОЕКТИРУЕМЫХ И МОДЕРНИЗИРУЕМЫХ
БРОНЕТРАНСПОРТЕРОВ: СТРУКТУРА ИССЛЕДОВАНИЙ**

Ткачук Н. А.¹, Малакей А. Н.², Грабовский А. В.¹,

Ананьин Е. С.¹, Головин А. М.¹

*¹Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,*

²ГП «Завод имени В. А. Малышева»,

г. Харьков

Задача исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) корпусов бронетранспортеров (БТР) разбивается на 2 подзадачи, причем для каждой механической подсистемы можно записать разрешающие соотношения, которые дополняются усилиями взаимодействия с другими подсистемами и условиями сопряжений этих подсистем. При этом порядок решения задач следующий:

1) на первом этапе производится моделирование динамических процессов в БТР как единой механической системе, в которой корпус БТР выступает как жесткое тело;

2) на втором этапе определенные на первом этапе силовые воздействия прикладываются к корпусу БТР, рассматриваемому как деформируемое твердое тело.

Предлагаемая схема обладает следующими преимуществами: естественное разделение различных по характеру конструкций, узлов, элементов и соответственно разделение общей задачи на две:

краевую динамическую задачу для корпуса как системы с распределенными параметрами;

начальную задачу для БТР в целом как системы с конечным числом степеней свободы.

При этом осуществляется переход от неоправданно громоздкой системы к рассмотрению подсистем с приемлемым уровнем сложности; физическая и структурная целесообразность; приемлемые требования к вычислительным ресурсам; сбалансированность уровней сложности получаемых подзадач (очень сложная задача разбивается на две существенно более простые, но примерно равные по сложности используемых математических моделей).

Кроме того, появляются аргументы для сбалансированного сочетания инерционно-жесткостных свойств отдельных компонент БТР в единой системе, которая создается на следующем уровне исследований.

Это позволяет сделать заключение о рациональности предложенной математической модели с точки зрения сбалансированного сочетания точности, полноты, строгости и затрат ресурсов.

ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИ-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РЕШЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ БОЕВЫХ БРОНИРОВАННЫХ МАШИН НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ И СОСТОЯНИЙ

**Ткачук Н. А.¹, Набоков А. В.¹, Хлань А. В.², Грабовский А. В.¹,
Малакей А. Н.², Куценко С. В.¹**

*¹Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
²ГП «Завод имени В.А. Малышева», г. Харьков*

Для обоснования проектно-технологически-производственных решений элементов боевых бронированных машин (ББМ) на основе численного моделирования процессов и состояний применяются различные методы. Это и проектные исследования, и лабораторные и стендовые, а также полигонные испытания. Они выстроены в единую последовательную цепь с реализацией «обратных» связей между отдельными этапами. Сроки, необходимые для осуществления всех перечисленных этапов, достаточно ощутимы. В силу этих обстоятельств простое механическое добавление процесса расчетных исследований напряженно-деформированного состояния (НДС) корпусов ББМ для выбора их рациональных конструктивных параметров в общую, сложившуюся в практике разработки новых изделий, последовательную линейную схему решения задачи испытаний и доводки конструкции, а также любая иная линейная последовательность, не может быть принято в качестве основной схемы решения возникающей задачи. Эти и другие факторы (в частности, все более широкое внедрение современных технологий компьютерного проектирования с применением различных CAD/CAM/CAE-систем) приводят к необходимости внедрения параллельно-последовательной схемы проведения исследований. Это предполагает как параллельное проведение моделирования и исследований с использованием компьютерных моделей, а также разработки технологических процессов (причем на каждом этапе происходит корректировка всех типов информации - конструкторской, технологической и т.д.), так и параллельное проведение исследований в ходе всего цикла проектных работ. Так, предложена интегрированная схема проведения исследований на примере НДС корпусов ББМ. Для обеспечения параллельного проведения исследований на всех этапах работ (параллельно с разработкой моделей, чертежей, оснастки и т.д.) необходимо или использование единой информационной базы для всех этапов работ, или разработка специальных процедур согласования структур данных на различных этапах.

С учетом реально сложившейся практики проектирования предлагается комплексная схема построения конечно-элементных моделей корпусов ББМ и исследования их НДС, имеющая многозвенный вид. С использованием предложенных схем исследований НДС корпусов БТР построены их параметризованные пространственные и конечно-элементные модели. Эти модели служат основой при проведении комплекса численных исследований для обоснования проектно-технологически-производственных решений элементов ББМ на основе численного моделирования процессов и состояний.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ КОНТАКТА СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ТЕЛ С НЕЛИНЕЙНО УПРУГИМ ПРОМЕЖУТОЧНЫМ СЛОЕМ

Ткачук Н. Н., Скрипченко Н. Б.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», г. Харьков*

В работе описано комплексное решение задачи анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) сложнопрофильных элементов машиностроительных конструкций с учетом контактного взаимодействия по поверхностям, геометрическая форма которых описывается кинематическими условиями сопряжения, при наличии между ними промежуточного нелинейно упругого слоя.

Особенностью описания геометрической формы контактирующих поверхностей является невозможность (в общем случае) аналитического их описания. Они получаются в виде двух облаков попарно сопряженных точек, которые находятся в ходе решения нелинейной задачи кинематического сопряжения. Именно это обстоятельство и обусловило особенности решения задачи определения напряженно-деформированного состояния этих тел при их контактном взаимодействии. В работе предложено для анализа контактного взаимодействия сложнопрофильных гладких и шероховатых тел применить разноуровневые по точности и трудоемкости модели: модель Герца; метод граничных интегральных уравнений (МГИР), вариационный принцип Калькера и метод конечных элементов (МКЭ). Данные методы и модели на их основе объединены на основе единого описания кинематически генерируемых поверхностей.

С использованием разработанных специализированных программно-модельных комплексов решен ряд прикладных задач определения напряженно-деформированного состояния элементов силовых круглозвенных горных цепей, шаровых поршней гидropередач, зубчатых колес двухпараметрического зацепления. Полученные результаты были проверены в ходе экспериментальных исследований на специально собранных стендах, в т.ч. с привлечением технологии контактных отпечатков с использованием чувствительных к давлению пленок.

Для экспериментальных исследований с использованием программно-модельного обеспечения, созданного в ходе разработок, были спроектированы, верифицированы и изготовлены опытные образцы сложнопрофильных деталей. Для компьютерной расшифровки картин контактных отпечатков создан специальный алгоритм и программа. Установлено удовлетворительное количественное и качественное соответствие результатов, полученных в ходе численных и экспериментальных исследований.

Представленная комплексная разработка создает условия для решения задач анализа контактного взаимодействия сложнопрофильных тел при наличии между ними промежуточного слоя, а также синтеза геометрической формы их контактирующих поверхностей.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСКАЕМЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ РАСЧЕТЕ ИЗГИБНОЙ ВЫНОСЛИВОСТИ ЗУБЬЕВ НА ОСНОВЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Устиненко А.В.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Одной из актуальных проблем современного машиностроения является снижение массы и габаритов зубчатых передач и приводов на их основе. Среди путей ее решения особое место занимает уточнение расчетов зубьев на изгибную выносливость.

В настоящее время самым распространенным подходом к определению напряжений в корне зуба является применение метода конечных элементов (МКЭ) в объемной постановке. Однако не следует забывать, что анализ прочности любого тела состоит в определении как действующих, так и допускаемых напряжений. Нормы допускаемых изгибных напряжений для зубчатых колес были выработаны в результате длительных исследований и окончательно утверждены с введением ГОСТ 21354-75. Исследования заключались в проведении натурных испытаний зубчатых колес на выносливость с последующим перерасчетом разрушающих нагрузок в напряжения. При этом в лучшем случае применялись методики расчета на основе плоской задачи теории упругости (чаще всего метод В.Л. Устиненко на основе конформного отображения) а иногда и методы сопротивления материалов (А.И. Петрусевича или ломаных сечений А.В. Верховского).

Таким образом, в настоящее время мы имеем явное несоответствие между расчетными действующими и допускаемыми изгибными напряжениями для зубьев. Выход из этого положения в первом приближении может быть найден следующим образом:

1. Обобщить накопленные за последние 50 лет данные испытаний зубчатых колес, исходя из базы $N_c - F_{lim}$ (число циклов напряжений до разрушения зубьев – соответствующая ему разрушающая нагрузка).

2. При расчете зубьев на основе МКЭ кроме действующих напряжений определить базовый предел изгибной выносливости σ_{limb} путем расчета конечно-элементной модели по разрушающей нагрузке F_{lim} , характерной для данного материала, термообработки и других параметров зубчатого колеса.

Такой подход к определению допускаемых напряжений существенно повысит достоверность расчетов зубьев на изгибную выносливость при помощи МКЭ.

АНАЛІЗ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ І НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПРИ ОБҐРУНТУВАННІ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ БОЙОВИХ МАШИН ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ

Хлань О. В.¹, Грабовський А. В.², Атрошенко О. О.²,

Васильєв А. Ю.², Ткачук М. А.²

¹ДП «Завод ім. В.О. Малишева»,

²Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут», м. Харків

Для проектно-технологічно-виробничого забезпечення технічних і тактико-технічних характеристик (ТТТХ) елементів бойових броньованих машин (ББМ) та технологічних систем для їх виготовлення (ТСВ) необхідне проведення комплексу досліджень фізико-механічних процесів і станів, які реалізуються при виробництві, експлуатації та бойовому застосуванні. Раніше розроблені удосконалені математичні та чисельні моделі, а також загальні підходи та методи здійснення таких досліджень. Вони можуть бути застосовані до розв'язання задач аналізу процесів і станів та синтезу технічних рішень елементів ББМ й ТСВ. Зокрема, у першу чергу слід звертати увагу на ті елементи, які прогнозовано створюють проблемні ситуації на тому чи іншому стані життєвого циклу об'єктів ББМ. Так, на етапі виробництва ББМ (механообробка) важливими є властивості точності та жорсткості елементів ТСВ, які впливають на точність та якість оброблення деталей вузлів, систем та агрегатів ББМ. Для деталей виробництва (зварювальні операції) та подальшої експлуатації суттєвий інтерес складають характеристики міцності таких типових елементів як бронепанелі бронекорпусів ББМ легкої категорії за масою. Для етапів виготовлення та експлуатації одним із визначальних є міцність крильчатки нагнітача повітря двигуна. Бойове застосування ББМ передбачає формування жорстких вимог до основної зброї. Вимоги надійності та боєготовності ББМ на етапі експлуатації та виконанні бойових завдань породжують для високооберткових деталей, зокрема, зокрема двигунів внутрішнього згорання, обмеження для режимів їхньої роботи. Отже, цим самим окреслюються критично важливі компоненти ББМ і ТСВ. Технологічні системи, які приймають участь у виготовленні деталей, вузлів, систем і агрегатів ББМ, здійснюють безпосередній вплив на їхні ТТТХ. Різні елементи технологічної системи чинять різноманітний вплив на окремі складові технічних характеристик деталей, вузлів систем, агрегатів та ББМ у цілому. Разом із тим практичну цінність мають не стільки окремі складові, а їх сумарний вплив. Проте якраз ця вимога диктує критерії щодо обґрунтування характеристик також і окремих компонент ТСВ. Вони полягають у збалансованості характеристик окремих компонент. Такі ж підходи були застосовані й до елементів ББМ. Проведені дослідження, установлені закономірності впливу проектно-технологічно-виробничих чинників на ТТТХ елементів ББМ і ТСВ, а також рекомендації щодо технічних рішень, технологічних режимів, оснащення та умов виробництва і експлуатаційних умов формують масив інформації про результати розв'язання актуальних наукових прикладних задач.

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ БОЙОВИХ МАШИН ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ

**Хлань О. В.¹, Ткачук М. А.², Заворотній А. В.¹, Зарубіна А. О.²,
Храмцова І. Я.², Кохановська О. В.², Ананьїн Є. С.²**

¹ДП «Завод ім. Малишева»,

²Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут», м. Харків

Підвищення технічних і тактико-технічних характеристик (ТТТХ) елементів бойових броньованих машин (ББМ), а також технологічних систем для їх виготовлення є на сьогодні актуальною і важливою науково-практичною задачею. На її розв'язання спрямовані зусилля багатьох вчених. При цьому застосовуються різноманітні евристичні, системні підходи, оптимізаційні алгоритми тощо. Якщо мова йде про задачу синтезу, то вона передбачає формування цільової функції, обмежень на варійовані параметри та рівняння стану в операторному вигляді. Формування будь-яких задач синтезу передбачає чітку постановку задач аналізу. У випадку проблеми, що досліджується у роботі, мова йде про конкретизацію загального операторного рівняння а також власне до визначення об'єктів досліджень. Що стосується об'єктів досліджень, то ними є відповідні елементи ББМ у розрізі фізико-механічних процесів і станів, які відбуваються або реалізуються при їхньому виготовленні, експлуатації та бойовому застосуванні. З іншого боку, – це елементи технологічно-виробничих систем (ТВС), через які проходять ті чи інші елементи ББМ. При цьому відбувається вплив елементів ТВС на деталь, вузол чи машину, які проходять через неї, створюючи, так би мовити, «технологічну спадковість». Остання позначається, наприклад, на точності та якості обробки поверхонь деталей, на їхню міцність та витривалість тощо. Таким чином, для кожного випадку потрібно формувати відповідну математичну модель досліджуваного процесу чи стану. Це становить мету роботи.

Основним елементом ТВС є верстат, який визначає спектр її можливостей. Звертаючись до постановки задачі про визначення напружено-деформованого стану та динамічних характеристик елементів ТВС методом скінченних елементів, будемо абстрагуватись від конкретного елемента, звертаючись до розгляду довільного об'єкта. На основі розвитку методу узагальненого параметричного моделювання розроблено новий підхід до забезпечення ТТТХ ББМ, який відрізняється тим, що множину варійованих параметрів доповнено проектно-технологічно-виробничими параметрами, що надає якісно нові можливості та властивості варіативності їхніх розрахункових моделей. У підсумку обґрунтування нових технічних рішень стає більш досконалим, оскільки враховує реальні технологічно-виробничі чинники, можливості та обмеження сучасних підприємств вітчизняного бронетанкобудування. На цій основі стає можливим забезпечити підвищені тактико-технічні характеристики ББМ.

ВИКОРИСТАННЯ НИЗЬКОПОТЕНЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ОПАЛЕННЯ ПРИМІЩЕНЬ

Хованський С. О.¹, Гречка І. П.²

¹Сумський державний університет, м. Суми,

*²Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків*

За даними міжнародного енергетичного агентства більшість населення планети до 80 % часу перебуває в приміщеннях різного призначення, на енергозабезпечення яких витрачається 40 % енергії, що виробляється в світі. Світові тенденції щодо підвищення енергетичної ефективності систем теплопостачання в основному спрямовані на використання полівалентних систем опалення з використанням поновлюваних джерел енергії, застосування яких дозволить знизити споживання дорогих вичерпних невідновлюваних природних ресурсів, а також зменшити екологічне навантаження на навколишнє середовище.

Генерація теплової енергії поновлюваними джерелами енергії і її споживання (процес теплопостачання) являють собою складний динамічний процес тепломасообміну, що протікає в умовах невизначеності фізичних і конструктивних параметрів, а також зовнішніх збурюючих кліматичних і технологічних факторів. Використовувана на практиці квазістаціонарна математична модель теплових процесів не дозволяє адекватно прогнозувати температурні режими елементів будівлі в умовах добових і сезонних коливань зовнішніх кліматичних умов, а також у випадках зміни параметрів теплоносія, що генерується відновлюваними низькотемпературними джерелами енергії.

Мета даної роботи є для підвищення енергетичної ефективності теплопостачання приміщень із застосуванням низькопотенційних поновлюваних джерел енергії (сонячний колектор, тепловий насос) за рахунок розробки алгоритмів регулювання теплового потоку окремих джерел енергії полівалентних систем теплопостачання для забезпечення необхідних комфортних умов у приміщенні і мінімального споживання енергії в умовах добових і сезонних коливань зовнішніх кліматичних умов.

Для досягнення поставленої мети було проведено моделювання гідродинаміки і теплообміну в приміщенні, що обігрівається полівалентними системами опалення з поновлюваними низькотемпературними джерелами енергії; проведено експериментальні дослідження теплотехнічних параметрів теплового стану приміщення, що дозволило здійснити апробацію та верифікацію математичних моделей для виконання розрахунків полів швидкостей руху повітря і розподілу значення температур у приміщенні; досліджено вплив зміни параметрів теплоносія, що генерується відновлюваними джерелами енергії, в умовах добових і сезонних коливань зовнішніх кліматичних умов, на тепловий режим приміщення. Отримані результати дозволяють здійснювати техніко-економічний аналіз використання різних систем опалення, включаючи полівалентні з поновлюваними низькотемпературними джерелами енергії, для забезпечення необхідного теплового режиму приміщення.

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО СТАНУ ЗАКРИТОЇ СПОРТИВНОЇ СПОРУДИ З ПОВІТРЯНОЮ СИСТЕМОЮ ОБІГРІВУ

Хованський С. О., Денисенко Т. М., Науменко В. В.

Сумський державний університет, м. Суми

Оскільки Україна має дефіцит власних енергоресурсів, тому проблема енергозбереження для неї є найбільш гострою, оскільки низька енергоефективність стала одним із основних чинників кризових явищ в українській економіці. Підвищення енергоефективності споруд закладів спортивної направленості вимагає використання інноваційних будівельних технологій, запровадження сучасних стандартів з енергоефективності та комплексного підходу, як до проектування нових, так і реконструкції існуючих будівель з одночасним врахуванням загального енергоспоживання всіх їх технічних систем.

Проведений аналіз науково-методичних публікацій щодо повітряних систем опалення будівель дозволив сформулювати мету даної роботи – підвищення ефективності використання теплової енергії закритих спортивних споруд з системою повітряного обігріву на основі аналізу їх теплових режимів. Об'єктом дослідження є термодинамічні параметри теплового стану приміщення з повітряною системою обігріву (на прикладі легкоатлетичного манежу Сумського державного університету).

Дослідження теплового стану закритої спортивної споруди, що обігрівається повітряною системою опалення, проводилися у Сумському державному університеті з використанням програмного комплексу ANSYS CFX університетської ліцензії. У даній роботі було проведено трьохфакторний експеримент з параметрами, які представляють собою границі досліджуваної області: температурою потоку повітря на виході із повітряного обігрівача (від 20 °С до 80 °С), масовою витратою повітряного обігрівача (від 3000 м³/год до 24000 м³/год), температурою навколишнього середовища (від -24 °С до 8 °С). У якості цільової функції було обрано осереднену за об'ємом температур середні приміщення. За результатами проведення віртуальних експериментів були отримані коефіцієнти регресії та визначена їх значимість за критерієм Стюдента. У результаті отримана залежність температури в середині приміщення від заданих факторів.

У результаті чисельного дослідження теплового стану приміщення були отримані основні параметри в розрахунковій області при виході на стаціонарний режим процесу складної тепловіддачі (тобто за досягнення максимальної і стабільної у часі температури повітря). Розроблена розрахункова модель, що дозволяє отримати інформацію про розподіл температури та швидкості руху повітря в залі легкоатлетичного манежу. Оцінено вплив роботи повітряного обігрівача при змінних параметрах масової витрати та температури повітря на виході з обігрівача і змінній температурі зовнішнього середовища, та отримано залежності для визначення раціонального режиму роботи повітряної системи обігріву.

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО СТАНУ ГРОМАДСЬКОЇ БУДІВЛІ З ПОВІТРЯНОЮ СИСТЕМОЮ ОБІГРІВУ

Хованський С. О., Феденченко І. М., Романюк В. А.

Сумський державний університет, м. Суми

На сьогоднішній день актуальною задачею для України є забезпечення підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів, в тому числі і теплової енергії. Особливо гостро це питання стоїть для закладів комунальної інфраструктури та громадських будівель.

Проведений аналітичний огляд тенденцій розвитку, технічного рівня систем теплозабезпечення дозволив сформулювати мету даної роботи – підвищення ефективності системи теплозабезпечення громадської будівлі з системою повітряного обігріву на основі аналізу її теплових режимів. Об'єктом дослідження є термодинамічні параметри теплового стану приміщення з повітряною системою обігріву (на прикладі актові зали Сумського державного університету). Дослідження теплового стану громадської будівлі, що обігрівається повітряною системою опалення, проводилися з використанням програмних продуктів Solid Works та ANSYS CFX університетської ліцензії.

Для досягнення поставленої мети за допомогою програмного забезпечення Solid Works було побудовано тривимірну модель області повітря досліджуваного приміщення, з його реальними габаритними розмірами, та вже існуючою системою опалення та повітряною системою з її повітрообігрівачами та повітрозбірником. Потім була побудована розрахункова сітка та на кожній поверхні були задані граничні умови. Для вирішення задачі використовувалася модель теплообміну в постановці Thermal Energy, що включає сукупність транспортних рівнянь нерозривності, імпульсу, повної енергії, модель переміщення повітря в розрахунковій області описувалася рівняннями Нав'є-Стокса осередненими за числом Рейнольдса.

У результаті розрахунку отримані термодинамічні параметри в кожній точці розрахункової сітки. Також було проведено нестационарний розрахунок, що дозволило оцінити прогрів приміщення в часі та спостерігати за роботою комбінованої системи опалення, та за який проміжок часу прогрівається приміщення.

Для аналітичного визначення температури в приміщенні актові зали проведений факторний експеримент, побудовано функцію відгуку, отримані коефіцієнти регресії та визначена їх значимість за критерієм Стюдента. Отримано аналітичну залежність температури в середині приміщення від температури потоку повітря на виході з повітрообігрівача, масової витрати повітря обігрівача та температури навколишнього середовища.

Отримані результати дозволяють визначити оптимальний режим роботи повітряної системи обігріву, а також час прогрівання приміщення актові зали.

Побудована 3D-модель області повітря актові зали СумДУ, проведено моделювання процесів аеродинаміки та тепломасообміну та досліджено вплив нестационарних процесів у внутрішньому об'ємі приміщення на його загальний тепловий стан.

МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ТОНКОСТІННИХ МАШИНОБУДІВНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ПРИКЛАДІ ВАГОНА-ЦИСТЕРНИ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ СІРЧАНОЇ КИСЛОТИ

**Чепурний А. Д.¹, Шейченко Р. І.², Граборов Р. В.², Маринюк В. С.²,
Пестунов О. О.², Ткачук М. А.³, Бондаренко М. О.³, Саверська М. С.³**

¹КК «Рейлтрансхолдінг»,

²НІЦ КК «Рейлтрансхолдінг», м. Маріуполь,

³Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут», м. Харків

У роботах багатьох вчених застосовуються різні аналітичні, чисельні та експериментальні методи для обґрунтування раціональних параметрів тонкостінних машинобудівних конструкцій (ТСМБК). Традиційна постановка задач синтезу передбачає формування певної цільової функції, множини змінних параметрів, рівнянь станів і обмежень. При цьому, наприклад, шляхом відшукування екстремуму цільової функції відбувається задоволення системі рівнянь і нерівностей, а самий розв'язок оголошується оптимальним з певної точки зору стандарту. У той же час така формалізація не може бути застосована у прикладному аспекті в силу цілої множини обставин, серед яких – складність формування структури проектованої ТСМБК, складний характер області, що формується обмеженнями, багатоекстремальність цільової функції тощо.

Серед основних перешкод – мінливість об'єкта проектних досліджень уже під час проведення самих цих досліджень. Це відноситься і до рівнянь стану, і до складу параметричного простору, а також до діючих обмежень. Усі ці компоненти задачі синтезу виявляються і детерміновано, і стохастично, і цілеспрямовано, і хаотично варійованими в ході реального проектування.

Для оперування з такими об'єктами був запропонований підхід, заснований на узагальненому параметричному моделюванні. При його використанні всі компоненти задачі синтезу є узагальненими змінними параметрами. Крім того, для конкретного класу об'єктів вдається побудувати спеціалізовані програмні засоби, які поєднують спеціалізовані модулі (реалізують націленість на конкретний об'єкт) і універсальні розрахункові засоби типу ANSYS (володіють високим дослідницьким функціоналом). Заявлений підхід був реалізований при проектних дослідженнях низки конструкцій та забезпечив розв'язання задач обґрунтування технічних рішень. У цьому випадку він застосовується для вагона-цистерни для перевезення сірчаної кислоти.

У результаті застосування розробленого підходу на основі узагальненого параметричного моделювання досліджуваної тонкостінної машинобудівної конструкції – вагона-цистерни, а також поєднання переваг спеціалізованих і універсальних засобів комп'ютерного моделювання, вдалося обґрунтувати проектні параметри нового виробу, що володіє високими техніко-економічними характеристиками і міцністю основних силових елементів. При цьому забезпечується високий коефіцієнт використання тари. Тим самим досягається рівень інноваційного виробу.

ОБҐРУНТУВАННЯ МІЦНОСТІ ВАГОНА-ЦИСТЕРНИ ДЛЯ ТЕХНІЧНОЇ СІРЧАНОЇ КИСЛОТИ

Чепурний А. Д.¹, Шейченко Р. І.², Граборов Р. В.², Маринюк В. С.²,
Пестунов О. О.², Ткачук М. А.³, Бондаренко М. О.³, Саверська М. С.³

¹КК «Рейлтрансхолдінг»,

²НІЦ КК «Рейлтрансхолдінг», м. Маріуполь,

³Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут»,

м. Харків

Тонкостінні машинобудівні конструкції (ТСМБК) набули широкого поширення в промисловості. Серед них особливе місце займають вагони-цистерни для транспортування рідких продуктів. До них пред'являються підвищені вимоги з міцності, оскільки це безпосередньо пов'язано із забезпеченням безпеки руху. Ці вимоги сконцентровані в стандарті. Його норми наказують забезпечення міцності елементів вагонів при певних поєднаннях екстремальних навантажень.

Для оцінки напружено-деформованого стану елементів вагонів на сьогодні широко застосовуються чисельні методи, зокрема, метод скінченних елементів, реалізований у вигляді комерційних програмних продуктів типу ANSYS. Серед переваг методу скінченних елементів, що зумовили його широке застосування – універсальність і можливість параметричного синтезу досліджуваних конструкцій за різноманітними критеріями. У той же час в конкретній предметній області можливості розв'язання задач синтезу за допомогою універсальних програмних продуктів обмежені специфікою проектних розробок. Дійсно, при аналізі напружено-деформованого стану ТСМБК того чи іншого типу слід враховувати сформовані в галузі (або підгалузі) традиційні рішення–аналоги, а також інфраструктурні обмеження. Крім того, важливими є також чинники економічного характеру, причому вони діють як на стороні виробника, так і експлуатанта. І, нарешті, на все це нашаровуються вимоги безпеки, втілені в нормах, умовах, вимогах, держстандартах. Ці обставини різко обмежують можливості маневру для розробника тонкостінних машинобудівних конструкцій навіть за наявності в розпорядженні такого потужного інструменту, як метод скінченних елементів, наприклад, у вигляді середовища ANSYS.

Шляхи подолання зазначених труднощів лежать, по-перше, в прагненні сформулювати математичну формалізацію проблеми, а по-друге, – в реалізації розробленої стратегії для конкретних об'єктів проектних досліджень. Цим напрямками присвячена ця робота на прикладі вагона-цистерни для сірчаної кислоти.

За допомогою розроблених моделей та програмних засобів обґрунтовані проектно-технологічні рішення нового вагона-цистерни для його виготовлення та подальшої експлуатації. Вони визначають такі технічні рішення, які позиціонують вагон-цистерну як інноваційний виріб.

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ДЕМОНТАЖУ КОЛІС ВСЮДИХОДІВ

Шабалін О.Ю.¹, Сергієнко М.Є.², Калінін П.М.¹, Жережон-Зайченко Ю.В.¹

¹ *Національна академія Національної гвардії України,*

² *Національний технічний університет*

«Харківський політехнічний інститут», м. Харків

Питання розробки конструкцій пристроїв для демонтажу шин сучасних всюдиходів у польових умовах, є актуальними. Частково вирішити питання демонтажу дозволяє розроблена в НАНГУ конструкція пристрою для демонтажу коліс з роз'ємним ободом (Патент України № 116622), який є характерним ободом для повнопривідних машин високої прохідності. Означений пристрій є розбірним, компактним, зручним у транспортуванні і зберіганні, а використання у якості силового органу штатного домкрату значно підвищує ефективність ремонтних робіт. Проте конструкція означеного його орієнтована на конкретний типорозмір шини демонтованого колеса, що обмежує сферу його застосування.

З метою розширення експлуатаційних можливостей пристрою для обслуговування різних типорозмірів шин коліс всюдиходів запропонована удосконалена конструкція (Патент України № 122257). Цей пристрій включає дві плити у вигляді рухомого нижнього та упорного верхнього дисків з ребрами жорсткості, віджимні елементи та напрямні шпильки із захватами. Опорні диски пристрою, по-перше, замість фіксованих наскрізних отворів, рівномірно розташованих по колу, що визначається типорозміром шини колеса, мають рівномірно розташовані по колу радіальні наскрізні пази, через які проходять шпильки, а, по-друге, віджимні елементи, завдяки поздовжнім пазам у полках ребер жорсткості нижньої плити, мають можливість пересуватися у радіальному напрямку і міняти своє положення відповідно до розмірів шини демонтованого колеса.

Пропоноване технічне рішення спрощує процес відокремлення шини від ободу колеса та відрізняється компактністю, зручністю при зберіганні та транспортуванні, зменшенням витрат часу на демонтаж шин, відсутністю небажаних деформацій шини та зниженням ймовірності можливих її руйнувань і може бути використане для різних типорозмірів шин та конструкцій ободів коліс.

У роботі обговорюються методи аналізу НДС елементів пристрою у робочому стані та результати його параметричного синтезу. Працездатність пристрою підтверджена чисельними експериментами з використанням методу кінцевих довжин на тривимірній його моделі. Аналіз проведених чисельних експериментів по конструктивно-параметричній оптимізації елементів пристрою з метою забезпечення необхідної міцності, достатньої жорсткості при одночасному зменшенні маси дозволяє запропонувати раціональний варіант технічного проекту пристрою для його виготовлення.

З метою підвищення оперативності, зменшення витрат енергії та часу при демонтажу коліс представлено напрями подальшого удосконалення конструкції пристрою. По результатам роботи підготовлена заявка на винахід.

ВПЛИВ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ПНЕВМАТИЧНИХ ШИН СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ТРАКТОРІВ НА УЩІЛЬНЕННЯ ГРУНТУ

Якунін М.Є.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Ущільнення ґрунту призводить до збільшення щільності та зниження пористості ґрунту, що часто спричинюється тиском на ґрунт тракторів та інших важких машин, таких як вантажівки, комбайни та ін [1, 2]. Рух важких коліс, особливо при перезволоженому ґрунті, руйнує структуру ґрунту і стискає її частинки близько один до одного, знижуючи тим самим пористість ґрунту.

При проведенні технологічних операцій обробки сільськогосподарських культур виявляються чинники, що знижують негативний вплив трактора на ґрунт і сприяють отриманню найбільшого врожаю [3,4].

Правильно підібрані шини трактора призводять до мінімізації його впливу на ґрунт, що позитивно позначається на його структурі і врожайності сільськогосподарських культур. Виявлено, що правильний вибір тиску повітря в шинах трактора сприяє підвищенню тягової ефективності на 5-7%, зниженню ущільнення ґрунту на 12-15%, збільшення ресурсу шин на 3-5% і, як наслідок, терміну служби трансмісії трактора [5]. Підібрані шини повинні забезпечувати максимальну площу контакту з поверхнею ґрунту. Площа контакту залежить від розміру, типу і кількості шин, також, як і від тиску повітря в них.

Тому на сьогоднішній день постає питання комплектації тракторів науково обґрунтованими типами шин, які дадуть змогу зменшити питомий тиск трактора на ґрунт, тим самим зменшивши його антропогенний вплив, без втрати тягової потужності.

Література:

1. Ребров О. Ю. Теоретичне обґрунтування основних параметрів колісних сільськогосподарських тракторів. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. 2017. № 8. С. 243–254.
2. Ребров О. Ю. Аналіз розподілу сільськогосподарських угідь України за питомим опором ґрунту при оранці. Системи управління, навігації та зв'язку. 2017. № 3. С. 51-16.
3. Гинзбург Ю. В., Швед А. И., Парфенов А. П.. Промышленные тракторы : учебник. Москва : Машиностроение, 1986. – 296 с.
4. ГОСТ 7463-2003. Шины пневматические для тракторов и сельскохозяйственных машин. Введ. 2005-01-01. Москва : ИПК Изд-во стандартов, 2004. 28 с.
5. Ксеневич И. П., Скотников В. А., Ляско М. И., Ходовая система – почва – урожай: учеб. пособие. Москва : Агропромиздат, 1985. 304 с.

**СЕКЦІЯ 5. МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ В
ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЧНОМУ, ЕНЕРГЕТИЧНОМУ ОБЛАДНАННІ ТА
ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

**MATHEMATICAL STUDY OF HEAT TRANSFER IN DIRECT CONTACT
CONDENSER**

Krugliakova O.V.

*National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute»,
Kharkov*

The processes of heat and mass transfer in direct contact condensers, where the phases contact surface is formed by polydisperse spray of drops, are rather complicated.

When modeling this processes, it is necessary to take into account many factors, the main of which are the mutual influence of heat exchange and mass transfer, phases interaction surface that is depends on time and condenser height, the patterns of spray surface formation and drops size distribution, the motion of drops in the condensing vapor and the methods for calculating the motion characteristics.

The mathematical model proposed takes into account following equations: balance equations, equations of heat and mass transfer between steam and liquid drops, films and jets, drop motion equation; one-parameter size distribution function of drops. The "Hill's vortex" model for drops was considered. This mathematical model allows to describe satisfyingly the processes in the direct contact condenser for a given steam flow rate and steam parameters, mass flow rate ratio (water steam), the initial temperature of cooling water, and the initial drop distribution function.

It is established that the degree of drop heating and consequently the amount of rejected from the steam heat depends substantially on both the drop size distribution and drop flow direction. It is shown that such factors as cooling water pressure in nozzles, the drop size distribution and the liquid initial temperature have a considerable effect on condensation zone height while mass flow rate ratio and spraying angle affected it much less.

OPERABILITY ESTIMATION OF ROD FUEL ELEMENT'S CLADDINGS OF NUCLEAR REACTORS WITH CONSIDERING OF THE CREEP

Romashov Yu. V., Povolotskii E. V.

National Technical University

«Kharkiv Polytechnic Institute»,

Kharkiv

The economic effect of the nuclear power plants is limited by the opportunity of the long-term exploitation of fuel elements in reactor's core. Thus, the opportunity to propose the most precisely estimation of the operability of fuel element's cladding of nuclear reactors is one of the most important problem of the modern nuclear power engineering. High temperatures in nuclear reactor core and relatively high mechanical stresses from interactions with moving heat carriers lead to the conditions which auspicious to the creep. Taking this into account, it is necessary to consider the creep to estimate the operability of rod fuel element's claddings of nuclear reactors.

We will use the schematization of the rod fuel element's cladding presented in the form of the thick-walled axisymmetric long-length cylinder loaded by the internal and external pressures and axial tensile force, which is established as the result of that pressures. We will use the particular variant of the creep theory with Kachanov-Rabotnov scalar damage parameter for the mathematical description of the creep in the material. The computer modelling of the state of the rod element's cladding of VVER-1000 nuclear reactor was realized with proposed schematization and mathematical model of the creep. As results of that computer modelling, we watched that the time before finishing of the latent damaging stage and forming the visual defect in the cladding of fuel rod have no dependences on the internal and external pressures, but have dependences on the absolute difference between internal and external pressures only. This conclusion corresponds with all-known phenomenological fact that the rates of creep and damage depends on invariant of the stress deviator only. Really, the invariant of stress deviator is zero for the all-round stretching or compressing and case of equal internal and external pressures acting on the fuel cladding corresponds to the state, which is closely to the all-round compressing.

Due to obtained results we can to tell that proposed schematisation of the fuel's cladding as the thick-walled long-length cylinder under internal and external pressures is unsuitable for the operability estimation of the fuel cladding of thermal nuclear reactors with light water as a heat carrier and as a neutron moderator, because internal and external pressures on fuel cladding in these reactors are comparable. It seems, that for these reactors it is necessary to consider the bending of fuel cladding in the flows of fluid heat carriers to estimate the operability limits. The bending consideration for the fuel cladding will be researched later. At the same time the proposed schematisation of fuel cladding can be suitable for fuel cladding of fast-breeder nuclear reactors with fluid metals as heat carriers, because the external pressure of fluid metal heat carriers on the cladding is significantly less than the internal pressure in the gaseous gap, which is between the fuel tablets and the cladding.

**ASSESSMENTS OF OPPORTUNITIES OF NUMERICAL METHODS
OF GRIDS FOR SOLVING THE TIME-DEPENDENT THERMAL
CONDUCTION PROBLEMS OF CERAMIC NUCLEAR FUEL**

Yefimov A.V., Romashov Yu.V., Yesypenko T.A., Chibisov D.O.

*National Technical University
«Kharkiv Polytechnic Institute»,
Kharkiv*

Thermal conduction processes have significantly influence on the operability of ceramic nuclear fuel and as a result they are significantly limiting capabilities of the exploitation modes choices and technical and economical characteristics of nuclear power plants units. To justify the operability of ceramic nuclear fuel for different exploitation modes it is necessary to research all possible processes of time-dependent thermal conduction, what can be in general accomplished by numerical methods using only. Thus, it is very actual the proposed theme about assessments of opportunities of numerical methods of grids for solving the time-dependent thermal conduction problems of ceramic nuclear fuel.

To estimate the assessments of numerical methods of grids for solving of time-dependent thermal conduction problem of ceramic nuclear fuel we considered the model problem about finding the temperature fields in the initial uniformly heated rod made from uranium dioxide with one thermally isolated edge after the thermal impact in its other edge. Method of separation of variables gives us an opportunity to obtain the exact analytical solution for this formulated problem and by comparing numerically obtained solutions with that exact analytical solution we can to assessment the qualification of corresponding numerical methods. The solution of the proposed model problem was obtained using classical scheme of the method of grids with time and coordinate grids in which results are significantly depended on the agreement between time and spatial grid's steps. That agreement can be established for some partial formulations of the problem but it can be significantly difficult in general formulations. Therefore, as alternative we considered the numerical solutions obtained using the semi-discretisation method which leads to the first-order ordinal differential equations with initial conditions to finding values of temperature in pre-defined nodes of a spatial grid. To integrate these obtained ordinal differential equations with initial conditions we used Merson's method and we showed that automatic choice of the on time integration step in this method give us the opportunity to obtain results with higher accuracy on shorter compute time. It can be to imagine that the automatic choice of the on time integration steps in Merson's method provides the agreement between time and spatial grids steps.

Results of assessments of numerical methods of grids lead us to the conclusion that the semi-discretisation scheme with Merson's method for ordinal differential equations with initial conditions solving is suitable to use in researches of time-depended thermal conduction of ceramic nuclear fuel. We will use semi-discretisation scheme only in further researches of time-dependent thermal conduction of ceramic nuclear fuel.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТУВАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ПРИ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОМУ ТЕПЛОПОСТАЧАНІ

Алексахін О.О., Бобловський О.В.

Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків

В умовах постійного зростання цін на енергоносії необхідна цілеспрямована політика на впровадження енергозберігаючих заходів в усі сфери житлово-комунального сектору. Централізоване теплопостачання є основним способом забезпечення теплотою житлових будівель. Однією з важливих проблем ефективності теплопостачання є зниження величини теплових втрат. За рахунок більшої протяжності і кількості трубопроводів теплові втрати в мікрорайонних мережах складають значну частину загальних втрат, тому при вирішенні завдання підвищення ефективності транспортування теплової енергії в першу чергу слід звернути увагу на зниження тепловтрат саме в мікрорайонних мережах.

Ще одним напрямком енергозбереження в житлово-комунальному секторі господарства є застосування додаткової теплоізоляції будівельних конструкцій існуючих будівель. У структурі мікрорайонних систем теплопостачання незалежне приєднання абонентів до теплових мереж здійснюється за допомогою водонагрівальної установки гарячого водопостачання встановленої на теплових пунктах. Широке поширення отримали двоступінчаті схеми підключення теплообмінних апаратів до теплових мереж. При такій схемі зміна розрахункового опалювального навантаження може обумовлювати зміну теплового стану трубопроводів мікрорайонної опалювальної мережі та витрати теплоносія, що також необхідно враховувати при оцінках економічного ефекту утеплення будівель.

В роботі розглядаються шляхи зниження теплових втрат в мікрорайонних мережах при зміні розрахункової опалювальної навантаження. Встановлено, що зменшення розрахункового опалювального навантаження будівель при утепленні обумовлює зменшення втрат теплоти трубопроводами мікрорайонної мережі. При цьому для зворотних трубопроводів така закономірність проявляється більш ніж у подавальних.

Для поетапного виконання робіт по утепленню протягом декількох сезонів більш привабливим, з точки зору зменшення тепловтрат трубопроводами мережі, є варіант утеплення спочатку найвіддаленіших від центрального теплового пункту споруд, що забезпечує додаткове зниження тепловтрат в мережах близько 5%. При виборі варіанта утеплення будівель однієї з гілок мережі слід враховувати, що при утепленні споруд, приєднаних до гілки більшої довжини, сумарні втрати теплоти опалювальною мережею менше.

АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ МІКРОРАЙОННОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ПРИ УТЕПЛЕННІ БУДІВЕЛЬ

**Алексахін О.О., Бобловський О.В.,
Скребець А.В., Мирук Г.М., Мацко А.В.**

*Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна, Харківський
національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова,
Національний технічний університет «Харківський політехнічний
інститут», м. Харків*

Використання додаткової теплової ізоляції при конструюванні зовнішніх огорожень будівель залишається основним напрямком енергозбереження у сфері будівництва і експлуатації будівель. Зменшення подачі теплоти до системи опалення утепленої будівлі може обумовлювати зменшення витрат теплоносія з теплових мереж для потреб опалення та відповідне зниження температури мережної води на вході й виході опалювальних комплексів споруд, що веде до зміни теплових режимів інших елементів мікрорайонної системи теплопостачання: розподільних теплових мереж, підігрівної установки гарячого водопостачання.

Для приєднання теплообмінників гарячого водопостачання до мереж централізованого теплопостачання використовують одноступінчасті та двоступінчасті схеми. Вибір схеми здійснюють залежно від співвідношення максимальних витрат теплоти на гаряче водопостачання і опалення ($\rho = Q_{h,max}/Q_{o,max}$). У роботі на прикладі житлового мікрорайону у м. Харкові проаналізовано зміну витрат мережної води через підігрівники при зменшенні розрахункового опалювального навантаження внаслідок можливого утеплення будівель мікрорайону. При цьому слід очікувати зміну вихідного співвідношення теплових навантажень $Q_{h,max}/Q_{o,max}$, прийнятого при проектуванні установки гарячого водопостачання, та вихід режимних параметрів установки за межі оптимального діапазону. В умовах зв'язаної подачі тепла, яка реалізується при двоступінчастих схемах приєднання підігрівників, це веде до зменшення економії витрат мережної води, яку можна було б досягти завдяки утепленню будівель. Погіршення ефекту економії витрат нагрівного теплоносія може досягати приблизно 30% величини економії витрат теплоносія на опалення, характерної для незв'язаної подачі теплоти. При обчисленнях прийнято, що зменшення витрат теплоти на опалення окремої будівлі становить 35%.

Проаналізовано також зміну втрат теплоти трубопроводами мікрорайонної системи опалення при утепленні будівель. Показано, що величини зменшення втрат теплоти зворотними трубопроводами помітно залежить від віддаленості утеплених будівель від центрального теплового пункту мікрорайону. Помітного зменшення втрат теплоти мікрорайонними теплопроводами можна досягти переходом до двотрубної схеми теплопостачання будівель.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ РЕЖИМІВ ПРИМІЩЕННЯ

Алексахін О.О., Єна С.В.

Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна,

Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут»,

м. Харків

Зменшення витрат теплоти на опалення будівель можна досягти підвищенням термічного опору будівельних конструкцій нанесенням додаткового шару теплової ізоляції. Товщину шару теплоізоляції визначають або з умови забезпечення нормативного чи потрібного опору теплопередачі елементів конструкції огороження будівлі, або з умови забезпечення зменшення втрат теплоти на опалення приміщень. Для зовнішніх стін утеплювач наносять, як правило, на зовнішню поверхню, що дозволяє виключити конденсацію водяних парів всередині конструкції огороження. Для приміщень з тимчасовим перебуванням у них людей суттєвої економії теплової енергії досягають також і впровадженням періодичних режимів опалення зі зниженням внутрішньої температури повітря у нічні години і комбінуванням роботи системи центрального водяного опалення з роботою системи вентиляції в ранкові години.

Математичну модель для визначення зміни температури повітря у приміщенні впродовж доби утворено з рівняння теплового балансу, яке враховує надходження теплоти до приміщення і втрати теплоти через огорожувальні конструкції, одомірного рівняння нестационарної теплопровідності зовнішньої стіни, для розв'язання якого використано метод прогонки. Коефіцієнти теплообміну поверхонь стіни та оточуючого середовища прийнято незмінними у часі та рівними значенням, що рекомендовані нормативними матеріалами. Різницю температур зовнішнього повітря у нічні і денні години доби прийнято рівною 10°C . Розглянуто три варіанти виконання утеплення стіни: нанесення шару теплової ізоляції на зовнішню поверхню, нанесення шару теплової ізоляції на зовнішню поверхню, нанесення ізоляції на внутрішню поверхню стіни, комбіноване утеплення (з обох сторін стіни). Показано, що для приміщень з тимчасовим перебуванням у них людей при однаковому термічному опорі шару теплової ізоляції ефективнішим є комбіноване утеплення, при якому відновлення температурного режиму внутрішнього повітря в ранкові години відбувається за менший відрізок часу.

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ

Алексахін О.О., Гордієнко О.П.

Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна,

Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут»,

м. Харків

Під комбінованим опаленням прийнято вважати обігрів будівель і споруд з використанням двох та більше джерел теплоти або теплоносіїв. Комбінованим також є опалення приміщення з перемінним тепловим режимом. При цьому опалення може бути багаторежимним, багатокомпонентним (частіше, двокомпонентним), з переривчастим режимом роботи. Багаторежимним називають опалення, яке здійснюється з різною температурою теплоносія у різні часи доби. Багатокомпонентним вважають опалення з декількома системами, які доповнюють одна одну для забезпечення необхідної тепловіддачі у приміщенні. При цьому одна з систем є базисною (наприклад, водяне опалення). Задача другої (повітряної, електричної тощо) є догріти повітря у приміщенні до необхідної температури за достатньо короткий період. Тепловий режим приміщень при багаторежимному опаленні характеризується трьома складовими: 1) постійна температура повітря протягом робочого часу; 2) зниження температури повітря при відключенні базисної системи у неробочий період (або переведення її у ощадний режим); 3) нагрівання приміщень перед початком роботи у них людей. Реалізація вказаного алгоритму забезпечує суттєве зменшення витрат теплової енергії для опалення приміщень за добу.

Роботу центрального водяного опалення (базова система) з успіхом можна доповнити системою вентиляції. Режим опалення організують наступним чином: після закінчення робочого часу водяну систему центрального опалення переводять у ощадний режим опалення зі зниженою температурою теплоносія, який триває практично до початку робочого дня. З початком робочого дня базову систему переводять у розрахунковий режим роботи і вмикають систему вентиляції, яка забезпечує подачу у охолоджені за нічні години робочі приміщення нагрітого повітря. Після стабілізації температурного режиму приміщень систему вентиляції вимикають.

На підставі аналізу результатів обчислення розподілу температури по товщині стінки та теплового режиму приміщення для різних варіантів виконання утеплення конструкції зовнішнього огороження показано, що для скорочення часу стабілізації температури повітря у приміщенні в ранкові години необхідна тепла ізоляція як зовнішньої, так і внутрішньої поверхні стін приміщення. Обчислення здійснено при умові, що термічний опір теплопередачі для розглянутої конструкції стіни відповідає сучасним нормативним вимогам. Проаналізовано вплив співвідношення товщини шарів зовнішньої та внутрішньої теплоізоляції на динаміку зміни теплового стану приміщення.

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ И ЭФФЕКТА ТЕРМИЧЕСКОЙ ДИССОЦИИ НА УДЕЛЬНУЮ ИЗОБАРНУЮ ТЕПЛОЕМКОСТЬ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ

Амброжевич М.В., Шевченко М.А.

***Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт», г. Харьков***

При современном уровне развития ГТД, когда суммарная степень повышения давления в компрессоре составляет уже $\pi_{k\Sigma}^* = 40...50$ и сохраняется тенденция её повышения, пренебрегать давлением недопустимо.

Однако с ростом $\pi_{k\Sigma}^*$, повышается и температура газов перед турбиной T_G^* , что неизбежно будет приводить к эффекту термической диссоциации в продуктах сгорания ГТД. Исследования по влиянию эффекта термической диссоциации на параметры рабочего процесса перспективных ГТД показывают, что его игнорирование приводит к вычислительным погрешностям.

В настоящее время существуют математические модели позволяющие рассчитывать изобарную теплоемкость как функцию от температуры и давления с учетом эффекта термической диссоциации, однако они довольно трудоемки, что не всегда практично при выполнении оценочных расчетов и написании программных алгоритмов.

В связи с этим авторами, была поставлена задача получения простых аналитических зависимостей, позволяющих рассчитывать изобарную теплоемкость как функцию от температуры и давления с учетом эффекта термической диссоциации.

На основании табличных данных, для основных компонентов продуктов сгорания ГТД в заданном диапазоне давлений и температур (азот: $p = 1...200$ бар, $T = 210...2870$ К; кислород: $p = 1...150$ бар, $T = 240...2870$ К; углекислый газ: $p = 1...200$ бар, $T = 370...2600$ К; пары воды: $p = 0,1...200$ бар, $T = 700...2600$ К) были получены аналитические зависимости для расчета изобарных теплоемкостей как функций температуры и давления с учетом эффекта термической диссоциации.

РАСЧЁТ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОСТУПЕНЧАТОГО ОСЕВОГО КОМПРЕССОРА С УЧЕТОМ ЭРОЗИОННОГО ИЗНОСА ЛОПАТОК

Барышева Е. С.

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»,
г. Харьков*

Эксплуатационные характеристики авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) во многом зависят от дефектов, возникающих в процессе их эксплуатации. Наибольшее воздействие на двигатель оказывает эрозионный износ лопаточных венцов и проточной части компрессора.

Согласно данным, приведенным в открытой печати, прохождение через вертолетный двигатель 100 кг пыли соответствующего летным условиям дисперсного состава приводит к снижению степени сжатия компрессора примерно на 8 %, а КПД компрессора ~ на 3 %, что в свою очередь приводит к росту температуры газа за турбиной на 50...60 К и к возрастанию расхода топлива на 6-8 %. Для оценки текущего технического состояния авиационного ГТД в процессе эксплуатации и его предельных возможностей в настоящее время широко используются математические модели как двигателя в целом, так и его элементов.

В докладе представлена математическая модель многоступенчатого осевого компрессора современного турбовального ГТД, позволяющая учитывать влияние эрозионного износа лопаточных венцов при расчёте его характеристик. Данный подход базируется на методе расчета суммарных характеристик компрессора по среднemasсовым параметрам с повенцовым описанием лопаточных венцов, разработанный в Национальном аэрокосмическом университете им. Н.Е. Жуковского "ХАИ".

В докладе приведены результаты верификации предложенной модели по данным экспериментальных исследований. Показано согласование результатов расчёта и экспериментальных данных в широком диапазоне режимов по частоте вращения и расходу.

В соответствии с уровнем используемой математической модели многоступенчатого компрессора (расчёт по среднему радиусу) предложен подход к учету абразивного износа лопаток, выполнена его программная реализация.

Рассмотрено влияние на характеристику компрессора различных факторов, возникающих в процессе эксплуатации, таких как изменение хорды и конструктивных углов профиля. Проведены расчеты характеристик компрессора с учетом эрозионного износа в широком диапазоне эксплуатационных режимов. Полученные результаты качественно соответствуют результатам исследований других авторов, которые представлены в открытой печати.

Особенностью предложенного подхода является его открытость, что подразумевает возможность внесения изменений и дополнений по мере накопления данных при эксплуатации ГТД.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОТЕКАНИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ КОРРОЗИИ

Боброва В.А.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», г. Харьков*

Процесс низкотемпературной сернокислотной коррозии, протекающий на конвективных поверхностях теплообмена котлоагрегата, зачастую приводит к нарушению нормальной работы этих поверхностей и снижению эффективности работы всего котлоагрегата.

Причины низкотемпературной коррозии заключаются в том, что при определенной температуре металлических стенок поверхностей нагрева происходит конденсация водяных паров, содержащихся в дымовых газах, и на трубах появляется роса. Температура конденсации водяных паров, определяемая по парциальному давлению их в газах, получила название температуры точки росы. Однако эта температура является температурой точки росы чистых водяных паров. Действительная температура точки росы дымовых газов при сжигании топлива, содержащих серу, значительно выше. Объясняется это тем, что содержащийся в дымовых газах серный ангидрид (SO_2) активно соединяется с водяными парами, образуя серную кислоту, которая значительно повышает точку росы.

Различают несколько ключевых способов снижения скорости протекания низкотемпературной коррозии:

- уменьшение содержания оксидов серы в дымовых газах
- замена металлов поверхностей, подверженных коррозии, коррозионностойкими материалами
- изменение способа сжигания топлива
- повышение минимальной температуры стенки подверженных коррозии поверхностей.

В настоящее время разработаны и применяются разнообразные способы предварительного подогрева воздуха, различающиеся по типу теплоносителя, по аэродинамической схеме, по конструкции и компоновке устройств, используемых для подогрева воздуха.

Организация предварительного подогрева воздуха, несмотря на снижение тепловой эффективности котлоагрегата и капитальные затраты, связанные с введением дополнительных поверхностей нагрева и тягодутьевых мощностей, может быть эффективным способом снижения низкотемпературной коррозии.

Таким образом, наиболее активно низкотемпературная коррозия проявляется в воздухоподогревателях, в которых имеют место наиболее низкие температуры греющего и нагреваемого теплоносителей. Защита оборудования от коррозии позволяет в значительной степени снизить затраты на ремонт и замену оборудования.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦЫ ОБЛАСТИ УСТОЙЧИВОЙ РАБОТЫ МНОГОСТУПЕНЧАТОГО ОСЕВОГО КОМПРЕССОРА РАСЧЕТНЫМ ПУТЕМ.

Бойко Л.Г., Иванов М.А.

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского
«Харьковский авиационный институт»,
г. Харьков*

Одними из наиболее опасных режимов работы газотурбинных двигателей (ГТД) и установок (ГТУ) являются срывные и неустойчивые режимы. Причиной возникновения срывных явлений, которые могут приводить к помпажным колебаниям в проточной части, является неблагоприятное обтекание лопатки компрессора, обусловленное различными факторами. Исследованию таких режимов посвящены работы многих научно-исследовательских центров и проектных организаций.

В процессе проектирования ступеней и многоступенчатых компрессоров важной и не всегда легко решаемой задачей является прогнозирование их характеристик в виде зависимостей степени повышения давления π^* и КПД от режима работы по расходу, частоте вращения n , и условий на входе. Для определения характеристик расчётным путём используются методы поверочного расчёта, основанные на решении прямой задачи теории турбомашин. Ещё более сложной задачей является прогнозирование положения границы области устойчивой работы на характеристике.

Очевидно, что наиболее детально течение в турбомашинах можно исследовать с помощью методов анализа вязких сжимаемых течений (3D подходы), однако определение границы устойчивости с их помощью вызывает некоторые затруднения. Существует мнение, высказываемое рядом авторов, о том, что физическая граница устойчивости компрессора совпадает с режимом его работы, при котором нарушается устойчивость численного конечно-разностного (или конечно-объемного) алгоритма. Однако, это далеко не всегда соответствует действительности, т.к. результаты численного анализа течения в ступени и, соответственно, устойчивости решения зависят от выбранного метода дискретизации расчетной области, густоты сетки, используемой гипотезы турбулентности т. д.

Конечно, наиболее точные результаты дают экспериментальные исследования. Однако их получение возможно, если ступень уже изготовлена, выполнена в металле.

Учитывая практическую важность прогнозирования границы области устойчивой работы на стадии проектирования компрессора, следует обратиться к работам, в которых рассмотрены полуэмпирические критерии устойчивости течения, полученные на основе обобщения опытных данных.

Определить предельные значения полуэмпирических критериев устойчивости, определяющих предельную загруженность решетки профилей или ступени компрессора, можно опираясь на метод расчета двумерного течения в компрессоре и соответствующий ему комплекс программ AxSum, а также и результаты опытного исследования многоступенчатых компрессоров. Эти данные и уточненные предельные значения критериев будут полезны, при совершенствовании проточной части компрессоров.

**СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ПІДВИЩЕННЯ
ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СПАЛЮВАННЯ
НИЗЬКОРЕАКЦІЙНИХ ПАЛИВ**

Борисенко О.М., Демченко Д.М.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Забезпечення енергетичної незалежності України на довгострокову перспективу пов'язано, насамперед, з розвитком теплової енергетики на вугіллі місцевих родовищ. Оскільки більшість котлів потужних енергоблоків ТЕС України в теперішній час фізично та морально застаріли, актуальною є задача реконструкції котлів що вичерпали ресурс з використанням вискоефективних і екологічно чистих технологій спалювання вугілля, зокрема, низькорекційного антрацитового штибу (АШ).

При спалюванні пилу АШ природний газ або мазут використовується для підсвітки пиловугільного факела або для попередньої теплохімічної чи тепломеханічної підготовки вугільного пилу. Крім того, природний газ в пиловугільних котлах використовується також для зниження концентрації NO_x в топкових газах при реалізації трьохступеневого спалювання в якості додаткового палива. Таким чином, в теперішній час доля природного газу (мазуту) в енергетичному балансі України значна. *Актуальність роботи* – зменшення долі природного газу і мазуту в балансі енергетичних палив України шляхом використання прогресивних технологій спалювання вугілля.

Перспективним є використання різноманітних модифікацій плазменних технологій, які забезпечують запалення та стабілізацію горіння низькорекційного вугілля; водня, як промотора запалення антрациту та (або) додаткового палива при ступінчатому його спалюванні, а також термохімічна підготовка вугілля з використанням водню і збагаченого киснем повітря.

Особливий інтерес представляє розробка енерготехнологічних комплексів на базі вугільних ТЕЦ, які забезпечують хіміко-технологічне виробництво водню в процесі внутрішньо циклової газифікації вугілля.

МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕНЕРГЕТИЧНОГО АУДИТУ

Ганжа А.М., Куцова Д.В., Шеннуф А.

Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут», м. Харків

Комунальне теплове господарство України має значну кількість устаткування, яке відробило свій ресурс та має багатозатратні втрати, як на об'єктах генерації, так і транспортування теплоносія. Питомі витрати енергоносіїв та теплові втрати у мережах українських підприємств теплопостачання значно вищі, ніж існуючі на цей час у країнах Європи та інших розвинених країнах.

У даний час забезпечення тепловою енергією житлових масивів багатьох міст України здійснюється від великих джерел, які були побудовані у другій половині 20-го сторіччя. Транспортування теплоносія від джерел до мікрорайонів здійснюється по магістральних трубопроводах великого діаметру. Теплова ізоляція та самі трубопроводи мають значне зношення, що обумовлює великі теплові втрати при постачанні теплової енергії до цих масивів. Великі відстані, на які транспортується теплоносій, обумовлюють і значні витрати електроенергії на його транспортування та розподілення. Ці чинники значно впливають на надійність самого теплопостачання, яка характеризується частими поривами магістральних трубопроводів та аваріями, що призводять до обмеження чи відключення теплопостачання споживачів, особливо, – у дуже холодні періоди.

Основною метою енергоаудиту є виявлення можливого потенціалу зниження витрат підприємства на енергоносії, а споживачів – на комунальні послуги, підвищення надійності теплопостачання.

При енергетичному аудиті проводиться обстеження підприємства та його частин (котелень, теплових мереж, об'єктів споживання), аналіз стану та ефективності окремих агрегатів та елементів з проведенням теплотехнічних, гідравлічних, аеродинамічних та інших розрахунків. На базі цього розробляються енергозберігаючі заходи, проводиться їх техніко-економічне обґрунтування з визначеннями терміну окупності та їх ранжуванням за пріоритетністю впровадження.

Типові енергозберігаючі заходи, які пропонуються і обґрунтовуються у результаті проведених авторами енергетичних аудитів:

- заміна котлів чи їх модернізація з метою підвищення ефективності спалювання палива у них, впровадження когенерації;
- заміна використання природного газу на інше альтернативне паливо;
- впровадження частотного регулювання приводів насосів та тягодуттьового обладнання;
- заміна насосів меншими за продуктивністю;
- реконструкція теплових мереж з заміною трубопроводів чи їх ізоляції з метою зменшення теплових втрат;
- використання електроенергії замість природного газу для опалення;
- реконструкція самої системи теплопостачання з наближенням джерел до споживачів.

ТЕПЛОВОЙ НАСОС В ИНТЕГРИРОВАННОЙ ТЕПЛОКЛИМАТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОМА

Гришко Д.В., Угольников С.В., Павлова В.Г.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Практика широкого предложения тепловых насосов (ТН) в качестве высокоэффективного источника тепло- хладоснабжения индивидуальных домовладений часто рассматривает его изолировано от других элементов энергетической инфраструктуры. Пренебрежение системным подходом к интеграции ТН приводит к нерациональным решениям в структуре и ее комплектации, к неэффективным режимам ее эксплуатации и как итог к повышенным энергетическим и финансовым затратам.

Рассматриваются четыре группы факторов, оказывающих влияние на формирование структуры ТН и выбор его характеристик, а также на его взаимодействие с компонентами теплоклиматической инфраструктуры индивидуального дома.

– Структурные факторы: планируемый уровень обновления инфраструктуры, цели и задачи использования ТН в ней, имеющееся оборудование и его влияние на режимные параметры, наличие сетей альтернативного энергоснабжения.

– Специфика планируемого использования ТН: функции ТН, доступные источники первичного тепла, теплоносители и их параметры, режимы эксплуатации.

– Оборудование интегрированной структуры: аварийно-пиковый источник тепла, системы рекуперации сбросного тепла, системы энергоснабжения от нетрадиционных источников, тепловые аккумуляторы, условия прокладки трасс, система управления компонентами и их взаимодействием.

– Экономические факторы: тарифная политика государственно-территориальных органов в области энергетики, системы ценообразования у энергопоставщиков, тенденции в энергоэкономике.

Обзор показал, что предпроектное формирование базы данных о влиянии приведенных факторов способствует обоснованию принимаемых решений по использованию ТН, выбору его мощности и структуры и интеграции ТН в общую энергосистему дома. В построенной на такой основе теплоклиматической инфраструктуре отсутствует дублирование функций, несовместимость требований, избыточность мощности, она обладает более высокой структурной надежностью и энергоэффективностью, что в целом снижает затраты на ее создание и эксплуатацию.

МЕТОДИКА УЗАГАЛЬНЕННЯ ДОСЛІДНИХ ДАНИХ ВИПРОБУВАНЬ ОСЬОВОГО КОМПРЕСОРА З НАДРОТОРНИМ ПРИЛАДОМ

Гур'єв О.А., Дегтярьов О.Д.

***Національний аерокосмічний університет ім. М.Е. Жуковського «ХАІ»,
м. Харків***

При розробці та експлуатації газотурбінних двигунів на нерозрахункових режимах роботи при сильному дроселюванні, або при використанні на великих висотах та скоростях польоту, гостро стає проблема виходу компресора на передзривний режим роботи, що загрожує зривом компресора до режиму помпаж та подальшим швидким руйнуванням двигуна. Розширення режимів можливої роботи газотурбінних двигунів в енергетиці, авіації та водному транспорті визначає актуальність роботи.

Робота присвячена розробці методики оцінки ефективності надроторного пристрою у вигляді кільцевих канавок різної форми в корпусі осьового компресора. Кільцеві канавки розширюють можливі режими роботи компресора газотурбінного двигуна, тому робота є актуальною.

Основними проблемами розробки та експлуатації газотурбінних двигунів є забезпечення надійної, стійкої роботи всіх його вузлів, досягнення високої паливної економічності. Одне з рішень цих проблем є розробка сучасних осьових компресорів з високим рівнем коефіцієнту корисної дії та достатнім запасом газодинамічної стійкості на всіх експлуатаційних режимах. Данні вимоги забезпечуються цілим комплексом сучасних підходів при проектуванні, виготовленні та експлуатації компресорів. До їх числа входять використання надроторних пристроїв у вигляді кільцевих канавок в корпусі над робочим колесом осьового компресора.

Запропоновано методику узагальнення експериментальних даних досліджень ступенів осьового компресора з надроторним пристроєм на основі обраної фундаментальної системи чотирьох безрозмірних параметрів, що характеризують основні особливості течії в периферійній області робочого колеса компресора. Узагальнення дослідних даних виконано за відомими сумарним характеристиками та геометрією вінців робочого колеса в припущенні сталості енергообміну по радіусу. Радіальний зазор у варіанті надроторного пристрою визначався між торцем робочої лопатки і гребінцем пристрою. Множинні рівняння регресії для кожної з функцій відгуку отримані за методом Брандона. Перевірка значущості рівнянь регресії за критерієм Фішера показала, що вони адекватно описують результати експерименту (при 5%-му рівні значущості).

Отримане узагальнення дозволяє на стадії прийняття проектних рішень оцінити ефективність надроторного пристрою у вигляді кільцевих канавок в корпусі при використанні його в дозвукових ступенях осьових компресорів газотурбінних двигунів.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРСИРОВАНИЯ ТУРБОВАЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ВПРЫСКОМ ВОДЫ В КАМЕРУ СГОРАНИЯ

Дегтярёв О.Д.

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»,
г. Харьков*

Известно, что при эксплуатации авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) на высотных аэродромах существует ряд эксплуатационных ограничений. Одной из таких проблем является нестабильность, а иногда и невозможность, запуска двигателя при высоких температурах окружающей среды. Связано это в первую очередь с тем, что вспомогательная силовая установка (ВСУ), которая является турбовальным газотурбинным двигателем, производит не достаточно мощности для раскрутки ротора маршевого газотурбинного двигателя (ГТД).

Для решения данной задачи необходимо сместить рабочую точку земного малого газа в сторону уменьшения потребной мощности маршевого ГТД или обеспечить большую мощность ВСУ путем кратковременного форсирования.

Обеспечить большую мощность турбовальной ВСУ можно реализацией цикла STIG (Steam Injected Gases), впрыском пара или воды в камеру сгорания. Еще один способ – это впрыск перекиси водорода H_2O_2 в камеру сгорания, что обеспечит образование паровоздушной горячей смеси с температурой 450-500 °C и даст дополнительную подпитку кислородом процесса горения в основной камере сгорания ГТД. При этом, если этот процесс реализовывать на вспомогательной ВСУ, то нет необходимости дополнительно перевозить запас воды или перекиси водорода на борту. Данную подпитку можно обеспечить в условиях аэродрома, путем незначительной переделки камеры сгорания ВСУ, обеспечив её соответствующими форсунками для распыления воды, пара или продуктов разложения перекиси водорода (или самой перекиси).

Для определения эффективности использования воды, как средства для форсирования ВСУ, на кафедре Теории авиационных двигателей «ХАИ» была создана математическая модель двигателя с учетом впрыска воды или пара в камеру сгорания. Результаты расчета типичной ВСУ представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Мощность ВСУ (кВт) при Н=0км, Тв=15°C	Мощность ВСУ (кВт) при Н=5км, Тв=50°C	Мощность ВСУ (кВт) при Н=5км, Тв=50°C впрыск 0,03кг/с	Мощность ВСУ (кВт) при Н=5км, Тв=50°C впрыск 0,05кг/с	Мощность ВСУ (кВт) при Н=5км, Тв=50°C впрыск 0,086кг/с	Мощность ВСУ (кВт) при Н=5км, Тв=50°C впрыск 0,1кг/с
64,37	23,62	40,03	47,74	60,5	65,17

Таким образом, впрыск воды в камеру сгорания ВСУ на больших высотах может обеспечить необходимую мощность для запуска маршевого ГТД в условиях большой высотности и высоких температурах окружающей среды.

ЗАГАЛЬНІ ПІДХОДИ ДО ОПТИМІЗАЦІЇ ОСНОВНОГО УСТАТКУВАННЯ ЕНЕРГОБЛОКІВ АЕС МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Єфімов О.В., Єсипенко Т.О., Гаркуша Т.А.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Для ефективної реалізації задач, пов'язаних з визначенням оптимальних параметрів і конструкцій устаткування енергоблоків АЕС за допомогою математичного моделювання й добре розроблених методів багатofакторної оптимізації, необхідно виконання ряду вимог при їх постановці. Практика показує, що недоцільно оптимізувати за допомогою однієї математичної (імітаційної) моделі весь комплекс параметрів, що характеризують даний енергоблок, оскільки за такої постановки задачі оптимізації часто бувають взаємно некоректні внаслідок значної невідповідності в точності різної вихідної інформації, нерівнозначності впливу параметрів на цільову функцію, специфічних відмінностей математичного опису різних вузлів і елементів енергоблоку.

Для ефективної оптимізації параметрів енергоблоків АЕС необхідно створення системи взаємопов'язаних математичних моделей, що включають в себе: групу докладних математичних моделей окремих вузлів і елементів устаткування енергоблоків; побудовані на їх основі більш узагальнені математичні моделі для основного устаткування енергоблоків; повну математичну модель енергоблоків.

Відповідно до вищевикладеного оптимізацію параметрів енергоблоків АЕС доцільно проводити за допомогою системи математичних моделей основного устаткування: реактора, парогенератора, турбоустановки. Основне обладнання, у свою чергу, доцільно розділяти на характерні вузли. Таке розбиття дозволяє раціонально, з урахуванням специфічних особливостей функціональних залежностей між параметрами кожного вузла, побудувати їх математичні моделі і провести оптимізацію, як окремих вузлів, так і основного устаткування енергоблоків АЕС шляхом послідовного уточнення.

Таким чином, рішення задачі оптимізації параметрів енергоблоків АЕС включає наступні етапи: вибір критеріїв оптимальності (цільових функцій); розробку системи взаємопов'язаних математичних моделей відповідно до необхідного ієрархічного рівня оптимізаційних досліджень; вибір обчислювальних методів і алгоритмів оптимізації.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГОРЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ ГРАНУЛ В РЕТОРТЕ КОТЛА

Збараз Л.И., Павлова В.Г.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Горение гранул в реторте котла можно отнести к слоевому виду сжигания топлива. Топливные гранулы (или пеллеты) являются результатом переработки отходов древесины, лузги подсолнечника, проса и т.п. производства, и имеют очень высокие показатели содержания летучих (до 85%), низкую зольность и влажность. Поэтому имеют преимущество как топливо перед дровами, углём, торфом.

Современная реторта имеет геометрию перевёрнутой трапеции, с прорезями для подачи первичного воздуха (Рис. 1)

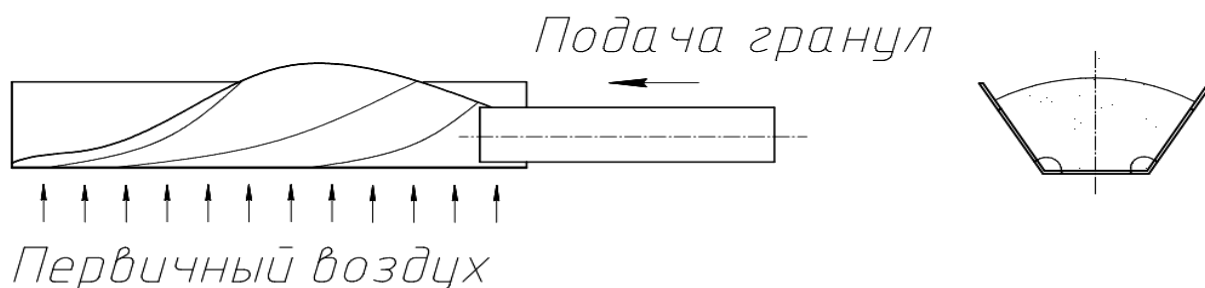


Рис. 1 Реторта.

В теоретическом плане на сегодняшний день хорошо проработаны и освещены в литературе отечественных и зарубежных авторов две схемы слоевого сжигания топлива противоточные и прямоточные. В данном случае мы имеем классическую «перекрёстную» схему слоевого сжигания. Для составления математической модели процесс горения можно условно разбить на 4 зоны: 1 – прогрев гранул (до температуры $270...320\text{ }^{\circ}\text{C}$); 2 - выход летучих ($300...870\text{ }^{\circ}\text{C}$); 3 – горение углерода топлива ($850...1150\text{ }^{\circ}\text{C}$); 4 – выгорание углерода кокса ($1100...1400\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Процесс горения твёрдого топлива в общем виде описывается на основе законов сохранения массы, энергии и импульсов, являющиеся следствиями 1-го и 2-го законов термодинамики. Кроме того, для замыкания системы уравнений её необходимо дополнить дифференциальными уравнениями скорости горения, необходимым для расчёта скорости изменения массы и дифференциальными уравнениями выхода трёхатомных газов RO_x для определения интенсивности теплообмена излучением, на основе которых может быть получено уравнение скорости выгорания топливных гранул для той или иной геометрии реторты.

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МУЛЬТИТОПЛИВНЫХ КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

Каверцев В.Л., Дягилев В.А.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Перспективным направлением в решении задачи энергосбережения может стать широкое использование в промышленности мультитопливных котельных агрегатов, способных работать на сжигании вторичных энергетических ресурсов.

Вторичные энергетические ресурсы (ВЭР) являются продуктом производства промышленных предприятий. В большей части, это касается металлургической и химической промышленности, где ВЭР вырабатывается в достаточном количестве для использования их в котлах.

Конструкции мультитопливных котельных агрегатов дают возможность работать в широком эксплуатационном диапазоне. Они могут работать, как на сжигании одного вида топлива, так и нескольких сразу, получая при этом одновременно энергосберегающий и экологический эффекты. Поэтому целесообразным, при достаточном наличии ВЭР, является внедрение способов многотопливного сжигания, где это возможно, в новых либо в уже существующих котельных агрегатах, в рамках их реконструкции.

Для реализации таких технических решений необходимо системное и согласованное использование теоретических основ, методов математического моделирования, результатов экспериментальных исследований и методов идентификации математических моделей физических процессов, происходящих в исследуемых объектах.

Такой комплексный подход и создание соответствующих систем позволит во много раз быстрее оценить их достоверные характеристики и на основе качественно новой технологии проектирования принять оптимальное решение при конструировании котла.

В настоящее время разработано достаточно много версий моделей и программ расчетов котлов различных модификаций. Эти математические модели и программы имеют разное функциональное назначение: некоторые из них предназначены для проведения конструктивных расчетов, другие – для выполнения проверочных или оптимизационных, диагностических расчетов и исследований.

Представляется актуальным создание программного комплекса и математической модели расчетов сепарационных устройств мультитопливного котла для дополнения уже существующих программ и моделей, позволяющие в едином информационном пространстве решать задачи многоцелевой и многоуровневой оптимизации параметров и характеристик устройств мультитопливного котельного агрегата.

РОЗРОБКА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ ДЛЯ ТЕПЛИЧНОГО ГОСПОДАРСТВА

Кошельнік О.В., Волченко К.Ю.

Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут»,

*Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна,
м. Харків*

Рентабельність вирощування овочів в теплицях в значній мірі визначається витратами на опалення та нагрів води для поливу рослин. Пропонується ряд заходів, спрямованих на зменшення енерговитрат в тепличному господарстві, що знизить кінцеву вартість продукції.

Розглядалися три види заходів: вибір матеріалів, що забезпечують найменші теплові втрати через огородження; вибір найбільш ефективних водогрійних котлів та розробка системи утилізації теплоти димових газів для нагріву води системи поливу рослин.

Виконано розрахунок теплового балансу теплиці площею 8640 м² за умов застосування різних матеріалів огородження (скло, поліетиленова плівка, полікарбонат) для кліматичних умов Харківської області. Розрахунки показали, що найбільш ефективним є використання сотового полікарбонату. Необхідна потужність котельної для максимального навантаження складає 3426 кВт.

Проведено розрахунки використання різних типів котлів для системи опалення теплиці. Обрано варіант із застосуванням твердопаливних котлів на пелетах ARS 1500 LM (4 шт., один – резервний) потужністю 1200 кВт кожний. Середня витрата палива за сезон складає 1661 т.

Знайдено необхідну витрату гарячої води на один полив рослин (томати), вона склала 17,76 м³ з температурою 45 °С. Для нагрівання води запропоновано застосування контактного економайзера з активною насадкою. Полив здійснюється протягом 2 діб (1/2 теплиці за добу). Виконано розрахунок роботи теплообмінника для мінімального навантаження котельної (середньодобова температура 1 °С), що складає 1164 кВт. Потужність теплообмінника дорівнює 98,2 кВт при температурі газів на виході 44 °С. Також проведений аеродинамічний розрахунок теплообмінника, необхідна потужність димососу складає 1085 Вт.

Таким чином, впровадження запропонованих заходів забезпечить зниження витрат енергоресурсів в тепличному господарстві та собівартості продукції, що вирощується в теплицях, за рахунок використання сучасних матеріалів з низьким коефіцієнтом теплопровідності, переходу на використання альтернативного виду палива – пелет та зменшення їх витрат на нагрів води для поливу рослин.

КОМПЛЕКСНА СИСТЕМА УТИЛІЗАЦІЇ ВТОРИННИХ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ СКЛОВАРНОГО ВИРОБНИЦВА

Кошельнік О.В., Долобовська О.В., Павлова В.Г.

Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут»,

Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, м. Харків

Виробництво скловиробів в Україні характеризується низьким ККД (15-20 %), а питома витрата теплоти становить від 7,5 до 25 ГДж/т. Сьогодні ціни на енергоносії невпинно зростають, тому існує необхідність проведення досліджень, спрямованих на вирішення практичних задач зниження енергоемності виробництва скла, вдосконалення обладнання та створення енергоефективних технологічних комплексів. Одним із напрямків по вирішенню практичних завдань енергозбереження є раціональне використання вторинних енергоресурсів скловарного виробництва – димових газів та низькопотенційної пари систем випарного охолодження (СВО).

Енергетичний потенціал водяної пари СВО може бути використаний для отримання електричної енергії. Використання стандартних парових турбін в даному випадку не є ефективним у зв'язку з низькою температурою теплоносія, що значно знижує економічну ефективність подібних схем в цілому. Тому доцільно розглянути виробництво електричної енергії в турбінах з нетрадиційним робочим тілом – воднем.

Ефективність утилізаційної системи значно підвищується, якщо в якості гріючого теплоносія використовуються як димові гази після скловарної печі, так і низькопотенційна пара СВО. Сталість температури теплоносіїв після рекуперативних теплообмінників, встановлених за скловарною піччю, дає можливість отримати постійну температуру газів, який може бути використаний як джерело теплоти для термосорбційних компресорів в процесі десорбції.

Розглядалася робота схеми з наступними параметрами: витрата пари $D = 7$ т/год; тиск пари $P = 0,2$ МПа; температура пари $t_{\text{п}} = 130$ °С; тиск водню на вході в ТСК – 0,3 МПа; ступінь підвищення тиску в ТСК $\pi = 3$. Таку кількість пари можливо отримати за умов об'єднання пари СВО декількох печей великої потужності в одному паропроводі. Використання теплоти водяної пари систем випарного охолодження та димових газів скловарної печі дозволяє підвищити потужність водневої турбіни в 3,83 рази в порівнянні з варіантом використання тільки низькопотенційної теплоти пари. Потужність водневої турбіни при використанні схеми для утилізації теплоти водяної пари СВО складає $N_{\text{т1}}=1208$ кВт у порівнянні зі схемою для утилізації теплоти димових газів і водяної пари – $N_{\text{т2}} = 4624$ кВт, що свідчить про доцільність використання схеми комплексної утилізації вторинних енергоресурсів.

ВИРОБНИЦТВО ХОЛОДУ В ХІХ СТОРІЧЧІ

Крахмальов О.В.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

З ростом міст та промислових центрів виникла необхідність створення умов для тривалого зберігання харчових продуктів та їх транспорту. Це потребувало розвитку техніки штучного холоду, стаціонарного холодильного устаткування та спеціальних транспортних засобів: вагонів-холодильників, рефрижераторних барж та ін.

Теоретичні основи хладотехніки були закладені в працях Д.І. Менделєєва, який виявив тотожність усіх термодинамічних властивостей співіснуючих фаз: рідина – пара в умовах критичного стану (Менделєєв Д.И. Основы химии. М., 1947). В працях О.Г. Столетова розкрита фізична сутність процесів переходу речовин із газоподібного стану в рідкий (Столетов А.Г. Собр. соч., т. I. М., 1939).

Практика холодильної справи спочатку ґрунтувалася на льодовому та льодосоляному охолодженню. Заморожування риби за допомогою льоду та солі було вперше здійснено в 1860 р. в Маріуполі та Таганрозі. В 1881 р. в Російській імперії вперше побудовані вагони-холодильники з льодовим охолодженням. Наприкінці 80-х років будувалось стаціонарне холодильне устаткування на пивоварних заводах і кондитерських фабриках. На Західно-Сибірській залізниці з 1910 р. почали застосовувати замість наповнення вагонів грудковим льодом із водою заморожування льоду, що було більш економічно в умовах Сибіру. В 1888 р. на Волзі була обладнана перша рефрижераторна баржа з повітряною холодильною машиною. В 1895 р. був побудований заготівельний яєчно-пташний холодильник місткістю 250 т в Белгороді та рибний холодильник в Петровську (нині Махачкала). В 1905 – 1911 рр. щорічно вводилось в дію по 2 – 3 холодильника, в 1912 р. – 6 та в 1913 р. – 9 холодильників. За час війни 1914 – 1917 рр. місткість холодильників збільшилась приблизно на третину.

До 1917 р. холодильна промисловість Російської імперії налічувала 58 стаціонарних холодильників сумарною місткістю 57000 т та з холодопродуктивністю компресійного устаткування 200 млн. ккал/год. Було в наявності також сім льодозаводів з добовою продуктивністю 72 т. Холодильне обладнання здебільшого було аміачним, обладналось тихохідними горизонтальними компресорами подвійної дії із застосуванням ручного змазування. Привод компресорів здійснювався від парових машин або двигунів внутрішнього згоряння.

З 1908 р. з метою популяризації штучного холоду в Петербурзі (1908 р.), Москві (1910 р.), Харкові, Ташкенті та інших містах були організовані холодильні комітети. Вони видавали журнали «Відомості комітету з холодильної справи», «Холодильна справа» та «Холод», скликали з'їзди з холодильної справи.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕСТНЫХ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ТОПЛИВ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Литвин С.Н.

ООО «Мотортех», г. Первомайск

Израсходовав, за последние полтора столетия, значительную часть ископаемых углеводородных запасов планеты Земля, человечество столкнулось с проблемой дефицита энергоресурсов и необходимостью их экономного расходования, в том числе путем использования возобновляемых топлив.

Существующие технологии, позволяющие перерабатывать местное органическое сырье в жидкое или газообразное топливо, требуют значительных затрат энергии, что приводит к существенному снижению теплотворной способности конечного топлива по сравнению с исходным сырьем. Следовательно, получение, из местного сырья, топлива пригодного для использования в поршневых ДВС, сопряжено со значительными потерями энергии, что увеличивает их себестоимость. В связи с изложенным целесообразно рассмотреть вопрос использования местных топлив без их дополнительных преобразований.

Сжигание местных топлив в паровых котлах с использованием полученного пара в поршневой паровой машине (ПМ) позволит расширить использование местных возобновляемых топлив и уменьшить дефицит топлив нефтяного происхождения, решить ряд экологических задач.

ПМ всех типов и классов обладают, как правило, простотой конструкции, высокой надежностью и долговечностью. В технологическом плане большинство деталей и узлов ПМ аналогичны деталям двигателей внутреннего сгорания аналогичной размерности, так как и конструктивно, и в технологическом плане ПМ и поршневой ДВС близки друг к другу, а для их производства требуется однотипное оборудование. Анализ индикаторных диаграмм ПМ и поршневых ДВС показывает, что ПМ допускают значительные, до 50% и более, перегрузки, а кратковременно и более 100%, что недопустимо для поршневых ДВС.

ПМ позволяет использовать дешевые, местные топлива, в том числе дрова, торф, органический мусор, отходы сельского и лесного хозяйств, низкосортные, не пригодные для транспортировки, ископаемые топлива и т.д. Это позволяет получать значительный экономический эффект при использовании топлива в агрегатах с ПМ, решая одновременно экологическую проблему утилизации органических отходов промышленности и сельского хозяйства обеспечивая потребителей дешевой электрической и тепловой энергией.

Выводы: Поршневые паровые машины, обладая простотой конструкции, высокой надежностью и долговечностью позволяют использовать дешевые местные топлива без их существенной предварительной подготовки. Использование местных возобновляемых топлив позволит освободить значительные количества жидких и газообразных топлив. В ПМ могут быть конвертированы поршневые ДВС, находящиеся в эксплуатации.

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ КОНТАКТНОГО КОНДЕНСАТОРА ДЛЯ ГАЗОПАРОВОЇ УСТАНОВКИ З УПРИСКУВАННЯМ ПАРИ В КАМЕРУ ЗГОРЯННЯ

Литвиненко О.О., Михайлова І.О., Дацик В.С.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Одним з напрямків ефективного розвитку і технічного переозброєння в енергетиці є широке застосування високоекономічних парогазових і газотурбінних установок. Газотурбінні установки (ГТУ) з уприскуванням водяної пари в камеру згоряння (газопарові енергоустановки) можуть бути використаними для збільшення питомої потужності, підвищення ККД, зниження питомої витрати палива і збільшення ресурсу, а також для зниження викидів токсичних речовин в атмосферу з продуктами згоряння.

Відома сучасна вдосконалена технологія типу ГТУ А-STIG (advanced steam injection in gas), що дозволяє виділяти пару з вихідних вихлопних газів газової турбіни (газопарової суміші) і повертати конденсат води в цикл для повторного використання. Для регенерації води використовується контактний конденсатор-газоохолоджувач, особливості конструкцій і ефективність роботи якого проаналізовані в даній роботі.

Контактний конденсатор являє собою змішувальний теплообмінний апарат складної конструкції насадкового типу. Ефективність теплообміну визначається конструкцією насадки, а саме, розвиненою поверхнею теплообміну, малими гідравлічними опорами, високими коефіцієнтами теплопередачі. Важливим аспектом є габаритні розміри, які мають знаходитись в визначених межах.

В представленій роботі для контактного конденсатора насадкового типу було обрано три типи насадок: кільця Рашига керамічні безпорядкові (чотири типа розмірів), кільця Палля безпорядкові (чотири типа розмірів), металева сітка та виконані теплові конструктивні розрахунки. Розрахунки виконані для вихідних даних контактному конденсатору установки «Водолій» НВКГ "Зоря"- "Машпроект" і за результатами обрано оптимальна насадка. З аналізу результатів розрахунків зроблено висновки, що більш внутрішньо розвинена поверхня насадки дозволяє зменшити габарити теплообмінника. Оптимальним варіантом насадки обрані кільця Рашига (15x15x2), де найменша висота насадки при фіксованому діаметру, що був отриманий в тепловому розрахунку.

РОЗРАХУНОК ТЕМПЕРАТУРНОГО СТАНУ ПОРШНЯ В ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСАХ РОБОТИ ДИЗЕЛЯ З УРАХУВАННЯМ ДАНИХ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Мордвінцева І.О.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

При проектуванні та виробництві поршнів двигунів внутрішнього згоряння багато уваги приділено його ресурсній міцності. Для її визначення має значення кількість перехідних режимів, умови експлуатації. Моделювання умов експлуатації двигуна в процесі проектування поршня передбачає отримання певних послідовностей циклів навантаження деталі. Для вдосконалення даної методики необхідно удосконалення нестационарних моделей експлуатації та визначення зміни термонапруженого стану в перехідних процесах роботи дизеля.

Для визначення термонапруженого стану необхідно отримати дані згідно температурного стану поршня. Особливістю визначення цих показників є урахування зміни навантаження та обертання колінчастого валу двигуна одночасно в перехідних процесах роботи. В роботі означений температурний стан встановлено експериментально. Дослідження здійснено для поршня дизеля 4ЧН12/14.

За даними випробувань були визначені керуючі функції характерних зон поршня для кожного з перехідних процесів роботи двигуна. Отримані закони зміни керуючих функцій температур на I і II кільцях поршня для кожного окремого режиму, були опрацьовані методом найменших квадратів та отриманні нові залежності для визначення керуючих функцій в перехідних процесах роботи двигуна. Нові закони керуючих функцій є поліномами 3-го ступеня.

Отримані дані температурного стану характерних зон поршня, з урахуванням нових законів керуючих функцій, мають задовільний збіг результатів. При цьому в процесі накидання навантаження розрахункові значення температур не відстають від експериментальних, а в процесі скидання - не випереджають останніх. Це свідчить про відсутність порушення концепції гарантованого забезпечення ресурсу конструкції на стадії моделювання керуючих функцій.

Високий збіг результатів розрахунку і даних експерименту дозволяють використовувати запропоновану методику визначення температурного стану теплонапружених зон поршня на початкових етапах його проектування.

ЗАКОНОМІРНОСТІ І ОСОБЛИВОСТІ ЗГОРЯННЯ ПАЛИВА ПРИ КАТАЛІТИЧНОМУ ПОКРИТТІ КАМЕРИ ЗГОРЯННЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА

Парсаданов І.В., Рикова І.В., Хижняк В.О.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Одним із напрямків подальшого поліпшення економічних та екологічних показників дизельних двигунів є реалізація можливостей внутрішньо-циліндрового каталізу. Каталітичні процеси в циліндрі двигуна підвищують швидкості окислювальних та відновних реакцій, збільшують повноту згоряння палива, сприяють перетворенню токсичних продуктів неповного згоряння палива у нешкідливі речовини і відновленню оксидів азоту до N_2 . Внутрішньоциліндровий каталіз забезпечується одним з трьох способів – безпосереднім впливом на паливо або окиснювач перед подачею їх до циліндра, а також при нанесенні каталітичного шару (покриття) на поверхню металу носія камери згоряння за спеціальною технологією при виготовленні поршнів. Найбільш простим, надійним та ефективним способом вважається впровадження каталітичного покриття на поверхні камери згоряння.

Метою досліджень було на основі теорій згоряння, перебігу хімічних перетворень та проведених експериментів виявити закономірності каталітичного ефекту при покритті поверхні камери згоряння дизельного двигуна.

Наявність каталізатора на поверхні камери згоряння сприяє зародженню активних центрів і, як наслідок, прискорення реакцій окислення в пристінкових зонах камери згоряння, а технологія нанесення покриття на поверхні камери згоряння забезпечує часткову теплоізоляцію, яка в свою чергу дозволяє прискорити випаровування палива в цих зонах. З іншого боку, скорочення тривалості згоряння дозволяє зміщувати момент початку подачі палива до ВМТ і, не погіршуючи паливну економічність, впливати на процес утворення швидких оксидів азоту, тим самим знижувати загальну концентрацію оксидів азоту в відпрацьованих газах.

Процеси згоряння у пристінкових зонах характерні для розвинутого дифузійного горіння і догорання продуктів неповного згоряння палива. Швидкість згоряння в цей період залежить в основному від особливостей розподілу палива і повітряного заряду з урахуванням форми камери згоряння.

Участь в реакції додаткових активних центрів та прискорення випаровування палива у стінок камери згоряння за даними одержаних при експериментах знижує годинну витрату палива на 1-3% та має позитивний вплив на екологічні показники двигуна. Так покриття поршня оксидом кобальту забезпечує найбільш суттєве зменшення викиду оксидів азоту саме на режимах, де їх концентрація найбільша (режими максимальної потужності).

Крім того, визначено збільшення швидкості згоряння і на більш ранній стадії згоряння, в період подачі палива, що може бути пояснено особливостями розподілу палива в камері згоряння двигуна, що досліджувався.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТВОДА ТЕПЛА ОТ НАГРЕТОЙ ПОВЕРХНОСТИ КИПЯЩЕМУ СЛОЮ

Переселков А.Р., Шевцов А.Г., Павлова В.Г.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Для интенсификации процесса сушки в сушилках с кипящим слоем используется дополнительный подвод теплоты непосредственно в кипящий слой от ТЭНов или паровых регистров.

Для расчета площади теплопередающей поверхности необходимы значения коэффициента теплоотдачи для реальных гидродинамических условий кипящего слоя и теплофизических свойств сушеного материала и сушильного агента.

На кафедре теплотехники и энергоэффективных технологий создана экспериментальная установка для исследования гидродинамики и теплоотдачи от нагретой поверхности к кипящему слою. Воздух подается компрессором. Аэродинамическое сопротивление прохода воздуха через кипящий слой измеряется микроманометром.

Коэффициент теплоотдачи к кипящему слою определяется с помощью α -калориметра, представляющего собой цилиндрическую трубку, внутри которой установлен нагреватель из нихромовой спирали. В стенку трубки впаяны термопары. Тепловая нагрузка регулируется ЛАТРОм, так же измеряется сила тока и его напряжение. Температура кипящего слоя измеряется термопарой.

Исследовались гидродинамические и теплотехнические характеристики кипящего слоя для нескольких материалов. Так для песка со средним диаметром частиц 0,3 мм (просеивался на ситах) при погружении α -калориметра в кипящий слой, коэффициент теплоотдачи возрастает в 3 раза.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании сушильных установок с кипящим слоем.

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ЕНЕРГОБЛОКАХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ТА НЕПОВНОТИ ІНФОРМАЦІЇ

Потаніна Т.В.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Електроенергетичний об'єкт (ТЕС, АЕС, МГЕС) є складною технічною системою. Складність розв'язання задач керування, діагностики, аналізу технологічних процесів, оцінки показників надійності та працездатності відповідальних елементів обладнання, прогнозування потужності, ремонтів систем та обладнання енергетичної установки зумовлена багатьма факторами невизначеності на усіх етапах «життєдіяльності» енергооб'єкту.

Неточність техніко-економічних характеристик існуючих енерготехнологій, вдосконалення технологій і практики проведення ремонтних заходів, рівень цін на ядерне та органічне паливо, характеристики енергоблоків нового покоління – очевидні фактори невизначеності ще на етапі проектування.

На етапі експлуатації електростанцій, коли необхідно розв'язувати цілу низку різного роду оптимізаційних задач, ефективною відповіддю на дану проблему є моделювання технологічних процесів в системах та обладнанні енергоблоків. Відправним кроком цього процесу є збір початкових даних, достовірність яких визначає і можливість побудови адекватної математичної моделі, і вибір методу розв'язання поставленої задачі. Досвід експлуатації свідчить про те, що отримані в результаті вимірів, або будь яким іншим чином необхідні для моделювання початкові дані точно не відомі. Тому актуальною є задача вибору методу оцінки параметрів енергооб'єкта. Результати досліджень в цій області вказують на переваги інтервального моделювання, що застосовує апарат інтервального аналізу. Інтервальний характер задачі дозволяє оперувати інтервальними оцінками неточних та невизначених параметрів. Застосовувати для опису критерія інтервальну функцію, або в випадку багатокритеріальної оптимізації – всі цільові функції представити інтервальними. Існують інтервальні розширення методів знаходження екстремумів інтервальних функцій.

На етапі старіння обладнання енергоблоків, коли досить актуальним є оцінка надійності, працездатності відповідальних елементів обладнання та безпеки їх експлуатації, прогнозування відмов, аварій, планування ремонтних заходів, спостерігається нестабільність характеристик технологічних процесів, методи інтервального аналізу дозволяють достатньо достовірно оцінювати показники надійності.

МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ ДЛИТЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ, ОПРЕДЕЛЯЮЩЕЙ РЕСУРС

Пугачева Т.Н.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», г. Харьков*

При выборе конструктивных форм и размеров элементов высокотемпературных турбин определяющими ресурс эксплуатации являются вопросы длительной прочности. Обычно в проекте принимают величину деформации ползучести в интервале от 0,3% до 1%. Этой величине соответствует напряжение, обуславливающее принятую (допустимую) деформацию за назначенный ресурс. Чем меньше назначена деформация, тем ниже соответствующее ей напряжение, называемое пределом ползучести. Вместе с тем значение предела длительной прочности для назначенного ресурса имеет свою определенную величину и чем ниже, при этом, принятая суммарная деформация за то же время, тем больше отношение $\sigma_{д.п} / \sigma_{п}$ ($\sigma_{д.п}$ – предел длительной прочности, $\sigma_{п}$ – предел ползучести для одних и тех же рабочей температуры и срока службы), т.е. запас принятого напряжения по отношению к пределу длительной прочности. При деформации порядка 1% за 10^5 часов предел ползучести, как правило, примерно в 1,6 раза меньше предела длительной прочности (для некоторых материалов $\sigma_{д.п} / \sigma_{п} > 1,6$) и, таким образом, при напряжении в детали равном пределу ползучести с деформацией за назначенный срок меньше 1% обеспечивается запас рабочих напряжений по отношению к пределу длительной прочности $n_{д.п} \geq 1,6$, что соответствует нормативам.

Поскольку, как и прочие механические характеристики металла, длительная прочность и ползучесть определяются опытным путем, а к началу создания турбин на сверхкритические параметры значения длительных характеристик имелись на базе испытаний 10^4 часов или, в лучшем случае, $3 \cdot 10^4$ часов, необходимые величины для расчетного срока службы определяли экстраполяцией полученных опытных данных на относительно малой временной базе. Естественно, что оправданный консервативный подход привел к некоторому занижению экстраполированных значений пределов длительной прочности и ползучести на ресурс эксплуатации существенно превышающий базовый (при испытаниях).

Определенную роль в увеличении наработки турбин сверх расчетного ресурса играет и то, что максимальное исчерпание длительной пластичности и охрупчивание материала в роторах ВД и СД имеет место в зонах, где слабо проявляются циклические напряжения, способствующие более раннему образованию трещин из-за исчерпания длительной прочности. Образовавшийся дополнительный запас по пределу длительной прочности, который обусловлен вышеизложенными объективными факторами, приводит к замедлению охрупчивания металла и, таким образом, к снижению опасности более раннего появления критических трещин – основных факторов повреждения детали из-за исчерпания длительной пластичности и длительной прочности.

ПУТИ РЕНОВАЦИИ ЭНЕРГООБОРУДОВАНИЯ

Пугачева Т.Н.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Тенденция развития мирового турбостроения свидетельствует о целесообразности поиска резервов продления ресурса эксплуатации мощных турбоагрегатов, работающих, в основном, на паре сверхкритических параметров. В этом процессе наряду с определением реального ресурса высокотемпературных и других узлов, рассматривается возможность замены определенной части деталей с восстановлением живучести турбоагрегата на продленный срок службы. Подавляющая часть энергоблоков с турбинами единичной мощностью 200,300 МВт и более выработала расчетный и продленный ресурсы (170 тыс. часов) и продолжает эксплуатироваться. Нарботка отдельных энергоблоков достигла 230-250 тыс. часов.

Речь идет не о простом восстановлении физической работоспособности, а о реновации, основанной на всестороннем улучшении показателей на базе современных достижений в областях термогазодинамики, прочности, усовершенствования режимов эксплуатации. Последнее связано с тем, что вследствие увеличения числа атомных электростанций многие энергоблоки ТЭС, первоначально предназначенные для работы в базовых режимах, используются для регулирования суточной неравномерности нагрузки (частые пуски, остановки, переменные режимы). Эти режимы работы вызывают высокие термические напряжения в толстостенных, находящихся под давлением, элементах корпусов и в отдельных зонах роторов, что создает предрасположенность к повреждениям. Поэтому требуется осуществление контроля истощения ресурса материалов под воздействием старения, вызываемого, главным образом, ползучестью и усталостью.

Следует полагать, что на ближайший период времени будет преобладать подход к продлению ресурса эксплуатации, заключающийся в том, что получит развитие реновация оборудования на основе его качественного улучшения при ограниченных затратах.

Наиболее рациональным способом продления ресурса следует считать установку взамен физически изношенных - узлов усовершенствованной конструкции, позволяющих одновременно с восстановлением работоспособности повысить экономичность турбоагрегата.

Такую модель реновации оборудования можно назвать модернизацией, если в специально разрабатываемом проекте применительно к группе однотипных турбоагрегатов с равноценным состоянием предусматривается установка элементов, соответствующих современным требованиям по экономичности, надежности и маневренности. Такая модернизация может быть малозатратной, если предусматривается возможность поэтапной замены элементов, начиная от малых объемов, с учетом степени износа узлов агрегата.

РЕСУРС ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ РОТОРОВ ПАРОВЫХ ТУРБИН

Пугачева Т.Н

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Продление ресурса работающего энергооборудования имеет важное значение, поскольку в настоящее время наработка значительной части турбин превысила нормативный и продленный сроки службы. Надежность и технико-экономические показатели многих из них не соответствуют современным требованиям.

Роторы высокого и среднего давлений, работающие при высокой температуре, являются одними из наиболее ответственных и металлоемких деталей, и срок службы турбины в целом в значительной степени определяется их ресурсом, который может быть оценен при наличии данных о фактических служебных свойствах роторной стали и данных о термонапряженном состоянии. Опасным считается момент зарождения трещины.

Первостепенная оценка показывает, что наибольшая вероятность появления трещин существует в зонах концентрации напряжений. Такими зонами для роторов турбин являются ободья дисков с пазами под хвостовики лопаток, осевой канал и термокомпенсационные канавки в зонах уплотнения. Напряженное состояние обода диска с пазом под Т-образные хвостовики лопаток определяется в основном действием центробежных сил. Максимальные значения интенсивности напряжений достигаются в верхней галтели паза. В процессе ползучести напряжения быстро релаксируют и после примерно 40 тысяч часов становятся постоянными. Деформация ползучести, наоборот, вначале быстро нарастает и примерно через 40 тысяч часов накапливается с постоянной скоростью. Основная часть диска работает при относительно невысоких напряжениях, составляющих 50-60 МПа. Зона действия напряжений, больших 100 МПа, ограничена глубиной около 10 мм от внутренней поверхности расточки ротора. Термонапряженное состояние на поверхности осевого канала изменяется в широких пределах в зависимости от особенностей переходных режимов, но напряжения всегда остаются ниже предела текучести. Для термокомпенсационных канавок термические напряжения являются основными. Эта зона не определяет ресурса турбин, работающих в базовом режиме.

Полный ресурс ротора складывается из времени до зарождения трещины и времени ее распространения до критического размера. Моменту зарождения трещины соответствует достижение расчетной повреждаемости, равной единице. В зоне обода диска и осевого канала определяющими являются напряжения от центробежных сил, изменяющиеся во времени вследствие ползучести. Циклически действующие напряжения для той и другой зоны ниже предела текучести и повреждаемость здесь невелика.

МОДЕЛЮВАННЯ СКИПАЮЧИХ ПОТОКІВ У СОПЛАХ ДЛЯ ЇХ ОПТИМІЗАЦІЇ В ТЕХНОЛОГІЯХ ОХОЛОДЖЕННЯ РІДИНИ

Сирий В.М.

***Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського («ХАІ»),
м. Харків***

В області малих температурних напорів і великих витрат охолодження рідини часто реалізують за рахунок її часткового випаровування. Ефективність процесу визначається можливістю реалізації розвиненої міжфазної поверхні та корисного використання частини рідини, що випарувалася. Такі можливості поєднує в собі струминний охолоджувач рідини (COP), в якому здійснюють диспергування робочого тіла в соплі з подальшим поділом фаз в сепараторі і відновленням статичного тиску в дифузорі. Так за допомогою COP може бути вирішена актуальна задача охолодження криогенних рідин для ракетно-космічних систем, де традиційні поверхневі теплообмінники малоефективні [1].

Мета роботи полягала в моделюванні потоків в соплах COP та їх оптимізації за рахунок зміни геометрії каналу і компенсуючих процесів масообміну скрізь його проникні стінки. При цьому вирішувалися завдання, пов'язані з адаптацією моделі соплової течії скипаючих криогенних рідин з кристалізацією рідкої фази до випадку відводу пари і введення в потік компоненти, що не конденсується. За базову прийнята нестационарна, двошвидкісна, двотемпературна модель, яка описана в [2].

Оптимізація сопла COP полягала в зниженні гідравлічних втрат і створенні сприятливих умов для сепарації фаз за рахунок зменшення довжини сопла Лавалля і площі його вихідного перетину. При цьому, недорозширення потоку компенсувалося відведенням частини пари на ділянці крапельної структури. Пов'язане з цим зменшення кінетичної енергії потоку і його повного тиску відшкодовувалися введенням в потік компоненти, що не конденсується.

В роботі представлені результати моделювання течії скипаючого водню в соплі Лавалля при його розширенні від 0,15 до 0,006 МПа. Розрахунки показали, що при збереженні заданого ступеня охолодження від температури 21 К і кристалізації 20% маси рідини, а також при збереженні її повного тиску на виході з сопла, можна на 25% знизити довжину сопла і площу його зрізу за рахунок відводу і заміщення гелієм 10% масової витрати на ділянці крапельної структури потоку.

Розроблена математична модель може бути використана при аналізі методів регулювання витрати через сопло Лавалля шляхом введення пари або газу, що не конденсується, поблизу його горла.

Література:

1. И.И. Петухов, В.Н. Сырый, Ю.В. Шахов Струйные аппараты для быстрого охлаждения и получения шугообразного состояния криогенных жидкостей // Технические газы. – Т. 17, №3. С. 33-38. 2. И.И. Петухов, Сырый В.Н. Численное моделирование вскипающих потоков криожидкостей с кристаллизацией капель // Авиационно-космическая техника и технология, 2005, вып. 1 (17). – С. 30-33.

ВЛИЯНИЕ ИСХОДНОЙ СТРУКТУРЫ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ СТАЛИ 12Х1МФ РАБОТАЮЩЕЙ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ И ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Ситников П. А.¹, Барташ С. Н.²

*¹Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,*

*²Харьковский машиностроительный колледж,
г. Харьков*

При исследовании металла паропроводов после 150000 ч работы установлено, что жаропрочность низколегированных сталей после длительного высокотемпературного старения существенно зависит от исходного структурного состояния, которое влияет на работоспособность стали. Основными критериями жаропрочности теплоустойчивых сталей являются плотность расположения упрочняющих фаз, расстояние между частицами карбидов и их дисперсность, что в свою очередь определяется режимом термической обработки. Испытаниям подвергались трубы промышленной партии одной плавки, прошедшие различные режимы термической обработки для получения ферритокарбидной, феррито-перлитной, феррито-бейнитной и закалочной структуры игольчатого строения. Испытания проводились при температуре 540 – 580 °С и напряжении 10 - 25 МПа.

Испытания на длительную прочность труб Ø 380 мм (толщ. стенки 24 мм) показали, что в исходном состоянии в зависимости от структуры, жаропрочность стали значительно отличается. Стали с закалочной структурой имеют предел длительной прочности в 2 раза выше, чем с ферритокарбидной структурой. Исследования карбидной фазы на электронном микроскопе показали, что после быстрого охлаждения с высоких температур при термообработке, выпавшие карбидные частицы после старения дисперсные и распределены более равномерно в продуктах распада мартенсита и бейнита. При медленном охлаждении карбидная фаза выделяется в виде обособленных более крупных включений по границам зерен и субзерен. Структурные изменения, происходящие в процессе высокотемпературного старения, отражаются на жаропрочности металла. Предел длительной прочности стали с феррито-перлитной структурой после старения снизился на 25 %, у переотпущенной – на 40 %, при ферритокарбидной структуре – на 15 %. В стали, содержащей сорбит отпуска, жаропрочность металла оставалась наиболее высокой. Структурные различия и их влияние на жаропрочность стали в том или ином варианте термической обработки остаются после многолетней службы металла.

Таким образом, наиболее высокую длительную прочность можно получить после закалки стали на мартенсит с последующей термической обработкой – высоким отпуском. При этом жаропрочность повышается не только за счет фазового наклепа, но и за счет более равномерного распределения упрочняющих частиц карбида ванадия по контуру мартенситных игл и дефектов кристаллической решетки.

АНАЛИЗ НАГРЕВА КРУПНОТОННАЖНОГО СЛЯБА В МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ

Тарасенко Н.А., Тарасенко А.Н., Угольников С.В.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Методические печи обеспечивают работу прокатных станов, нагретыми до пластического состояния, заготовками. Температура нагрева заготовок зависит от марки стали. Для углеродистых и слаболегированных сталей эта температура не превышает 1300°C . При нагреве заготовок (слитков, слябов) необходимо учитывать, что после выхода заготовки из печи, она направляется на обжимные станы и гидросбив окалины, где температура заготовки несколько снижается.

Важной характеристикой состояния заготовки перед прокаткой является равномерность нагрева, как по толщине так и по длине заготовки. Максимальный перепад температур по толщине заготовки не должен превышать 2°C на один сантиметр толщины. Неравномерность нагрева заготовки по длине задается в технических условиях и обычно не превышает $40 - 60^{\circ}\text{C}$.

В процессе эксплуатации печи, требования по равномерности нагрева заготовок, могут не выдерживаться. На это влияет ряд факторов связанных с износом футеровки печи и водоохлаждаемых элементов, нарушением работы горелочных устройств, увеличением присосов холодного воздуха, особенно в нижней зоне печи.

Проведенное экспериментальное исследование нагревательной печи с шагающими балками позволило определить неравномерность нагрева сляба, длиной 10,5 м и толщиной 0,25 м. Методическая печь имеет трехкамерную сварочную зону и двухсторонний нагрев. Максимальная температура нагрева поверхности сляба 1250°C . Время нагрева составила 185 минут.

Неравномерность температур в печи составляла до 250°C в методической зоне, $80 - 100^{\circ}\text{C}$ в камерах сварочной зоны и до 40°C в конце томильной зоны.

Перепад температур по толщине сляба между продольными (глиссажными) трубами в конце процесса нагрева не превышал 40°C , по оси продольных труб перепад достигал 120°C , что подтверждает экранирующее влияние глиссажных труб, препятствующее более интенсивному прогреву сляба.

Неравномерность нагрева по длине сляба, для верхней поверхности, составляла 90°C , для нижней более 200°C .

Полученные данные позволяют разработать мероприятия по совершенствованию нагрева сляба в методической печи.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОГІДРАВЛІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕКОНСТРУЙОВАНОГО КОТЛА ТП-100

Тарасенко О.М., Тарасенко М.О., Гоцький А.М.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

В Україні на багатьох ТЕС знаходяться в експлуатації котли ТП-100, що працюють в блоці з турбіною К-200. Котли виготовлені та введені в експлуатацію в шістдесятих роках ХХ століття. В даний час у зв'язку з виробленням ресурсу елементів котла проводиться їх реконструкція.

Котел ТП-100 (ТП-100А) паропродуктивністю 640 т / год з природної циркуляцією призначений для отримання пари високих параметрів ($P_{\text{пе}} = 140 \text{ кгс / см}^2$, $t_{\text{пе}} = 545^\circ\text{C}$) при роботі на АШ, з рідким шлаковидаленням. Для підсвічування на низьких навантаженнях використовується природний газ.

Для забезпечення мінімальних присосов і з метою заміни обмуровки топкової камери на полегшену теплоізоляцію, проектується заміна голодкотрубних екранів топки на газощільні, що веде до зміни кількості труб, що екранують топку.

При внесенні таких змін до конструкції котла необхідно виконати ряд теплових, аеродинамічних розрахунків, розрахунків циркуляції і температури стінки найбільш напружених елементів котла.

Таким чином, задана температура первинного і вторинного перегріваного пара, яка дорівнює 545°C , витримується на номінальному навантаженні котла при спалюванні розглянутих видів палива в межах $\pm 5^\circ\text{C}$, що відповідає вимогам НТД.

Аналіз результатів теплового розрахунку на номінальних та знижених навантаженнях показав, що температура перегрітої пари витримується рівній $545 \pm 5^\circ\text{C}$, а температура вторинного перегрітої пари знижується до $535 \pm 1^\circ\text{C}$ на навантаженнях 70% і 60% від номінальної.

Тиск первинного і вторинного перегрітої пари відповідає заданим параметрам. Розрахунковий ККД брутто реконструйованого котла на розглянутих видах палива на всіх розрахованих навантаженнях знаходиться в діапазоні 90,1 ... 91,7% при температурі відхідних газів в діапазоні 112 – 130 $^\circ\text{C}$.

Для оцінки впливу реконструкції на гідравлічні характеристики був виконаний розрахунок природної циркуляції в випарних екранах топки для проектного виконання циркуляційної схеми.

Аналіз отриманих результатів підтвердив надійність природної циркуляції в випарних поверхнях топки. Порівняння розрахунків виконаних для вихідного і модернізованого варіантів показало, що у всіх панелях (крім двусветних) відбулося збільшення швидкостей циркуляції і незначне зниження кратності циркуляції в контурах. Це сталося внаслідок зменшення прохідного перетину панелей і збільшення втрат на тертя.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ ГАЗІВ, ЩО ВІДХОДЯТЬ З НАГРІВАЛЬНИХ ПЕЧЕЙ

Тарасенко О.М., Тарасенко М.О., Стратилатов О.О., Кулага С.В.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

На багатьох підприємствах мають місце значні енергетичні втрати за рахунок недостатнього використання теплоти відхідних газів в технологічних процесах. Особливо це характерно для підприємств які мають в своєму складі високотемпературні установки в яких температура газів, що йдуть складає 1000 °С і більше. Теплота відхідних газів, або використовується частково або не використовується взагалі і нагрітий газ викидається в атмосферу. Це призводить до великих енергетичних втрат підприємства, а також викликає різні проблеми екологічного характеру.

Метою та об'єктом дослідження є підвищення використання тепла відхідних газів методичної печі потужністю 40 т/год. Режим роботи печі - двозонний температурний. Піч має зону методичного нагріву і зварювальну зону з двостороннім нагріванням і монолітним подом. Для попереднього підігріву повітря до 400 °С за піччю встановлено петлевий рекуператор, виготовлений з жаростійкої сталі.

Аналіз витратної частини теплового балансу показав, що втрати теплоти з відхідними газами складають 36 %. У зв'язку з цим доцільно забезпечити більш повну утилізацію тепла димових газів, що відходять, яка може бути виконана двома методами: з поверненням частини тепла, відібраного у димових газів, назад в піч і без повернення цього тепла в піч. Для здійснення першого методу необхідно тепло, відібране у диму, передати тим, що йдуть в піч газу і повітря (чи тільки повітря). Для досягнення цієї мети широко використовують теплообмінники рекуперативного типу, застосування яких дозволяє підвищити до. п. д. пічного агрегату, збільшу температуру горіння і заощадити паливо. При другому методі утилізації димових газів, що тепло відходять, використовується в теплосилових котельних і турбінних установках, чим досягається істотна економія палива.

Запропоновано встановити після рекуператора котел-утилізатор КУ-40. Виконані розрахунки поверхонь нагріву і паровидатність котла-утилізатора і конструктивні характеристики його поверхонь нагріву Аналіз показників після модернізації показав, що втрати тепла з відхідними газами були знижені з 8,21 МВт (36% від загальних втрат) до 2,23 МВт (9,64% від загальних втрат). Температура газів була знижена на виході з 675 °С до 172 °С. Паровидатність котла склала 9,2 т/год.

Розрахована економія палива на вироблення пари, якби вона вироблялася в звичайній котельній, яка працює на природному газі. Економія склала 13464 м³ /добу.

ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ ВЫБРОСЫ

Тютюник Л.И., Иванова Л.А., Касилов В.И., Дадыкина Я.В.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Для каждого проектируемого и действующего объекта, являющегося стационарным источником загрязнения воздушного бассейна, устанавливают нормативы предельно допустимых выбросов (ПДВ) загрязняющих веществ в атмосферный воздух. ПДВ устанавливают из условия, что выбросы вредных веществ от данного источника в совокупности с другими источниками не создают приземную концентрацию, превышающую ПДК за пределами санитарно-защитной зоны. Если на данном предприятии или группе предприятий, расположенных в данном регионе, значение ПДВ по объективным причинам не могут быть немедленно достигнуты, устанавливают временно согласованный выброс (ВСВ). Норматив ВСВ устанавливают на период разработки и организации воздухо-охраных мероприятий, обеспечивающих достижение нормативов ПДВ. Срок действия ПДВ устанавливается на 5 лет.

При появлении новых производств, реконструкции действующих, изменении технологического процесса или вида используемого сырья и других случаях, нормативы ПДВ пересматриваются. Для каждого города на основании нормативов ПДВ предприятий и фоновых составов атмосферного воздуха разрабатывают общегородские нормативы ПДВ, в соответствии с которыми индивидуальные ПДВ предприятий могут быть пересмотрены в сторону уменьшения.

Соблюдение установленных нормативов качества обеспечивает благоприятную экологическую обстановку в регионе в соответствии с требованиями закона Украины об окружающей среде. ПДВ устанавливается для каждого стационарного источника из расчета, что совокупный выброс от всех источников загрязнения атмосферного воздуха с учетом перспективы развития не приведет к превышению нормативов ПДК в приземном слое. ПДВ устанавливается для условий полной нагрузки технологического и газоочистного оборудования и их нормальной работы. ПДВ не должен превышать в любой 20 минутный период времени. Для мелких источников целесообразно установление ПДВ от их совокупности с предварительным объединением их в площадной или точечный источник. ПДВ определяется для каждого вещества отдельно, в том числе и в случае суммации вредного воздействия нескольких веществ. По результатам расчета нормативов ПДВ для каждого стационарного источника выбросов устанавливается предельный выброс предприятий в целом. ПДВ устанавливают с учетом фоновых концентраций энергетически достоверной максимальной концентрации.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ И ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ ВЫБРОСЫ

Тютюник Л.И., Иванова Л.А., Касилов В.И., Пивоварова Н.В.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Под загрязнением атмосферного воздуха подразумевают увеличение концентраций физических, химических, биологических компонентов сверх уровня, который выводит природные системы из состояния равновесия. Наиболее высокие концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе, которые превышают предельно допустимые концентрации в 2-5 раз и именно на этих территориях аккумулируется основная масса на почве и поверхности водоемов. Разные негативные перемены атмосферы Земли связаны главным образом с изменениями концентраций второстепенных компонентов атмосферного воздуха. Существует два главных источника загрязнения атмосферы: природное и антропогенное.

Природные источники – это вулканы, пылевые бури, лесные пожары, процессы разложения растений и животных. Наиболее значительными из выше указанных загрязнителей являются лесные пожары, особенно в наше время, когда из-за высокой температуры они приобретают угрожающие масштабы, особенно летом.

К основным антропогенным источникам загрязнения относят предприятия топливно-энергетического комплекса, транспорт, разные машиностроительные предприятия, предприятия тяжелой промышленности.

Тепловые электростанции загрязняют атмосферу выбросами, которые содержат сернистый ангидрид, двуокись серы, оксиды азота, сажу, пыль и золу, которые содержат соли тяжелых металлов.

Комбинаты черной металлургии, которые включают в себя доменное, сталеплавильное, прокатное производство, агломерационные фабрики, коксохимические заводы и др.

Цветная металлургия, которая загрязняет атмосферу соединениями цветных и тяжелых металлов, парами ртути, сернистым ангидридом, окисями азота, углевода и др.

Машиностроение и металлообработка. Выбросы этих предприятий содержат аэрозоли соединений цветных и тяжелых металлов, в том числе паров ртути. Нефтеперерабатывающая и нефтехимическая промышленность является источником таких загрязнителей атмосферы как сероводород, сернистый ангидрид, окись углерода, аммиак, углеводород и бенз(а)перен.

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ СИСТЕМОЮ ОХОЛОДЖЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО ДИЗЕЛЯ ТИПУ 5ДН 12/12х2

Федоров А.Ю., Марченко А.П., Ліньков О.Ю.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Сучасні енергетичні установки на базі двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) мають відповідати жорстким вимогам з витрати палива, показникам токсичності відпрацьованих газів та задовольняти вимоги споживача з потужності та надійності. Створення нових конструкцій та модернізація вже існуючих двигунів повинні базуватись на використанні сучасних технологій та матеріалів.

Розглянуто транспортний дизельний двигун 5ДН12/12х2, з вентиляторною системою охолодження. Вона включає в себе систему охолодження охолоджуючої рідини і оливи дизеля. Режими роботи цієї системи визначаються не тільки параметрами теплоти підведеної до теплоносіїв, а і параметрами навколишнього середовища: температурою і тиском.

Деталі ДВЗ працюють в чітко визначеному температурному діапазоні, вихід за межі якого призводить до зростання температури деталі, внаслідок чого змінюватимуться геометричні розміри та фізичні властивості матеріалу. Не оптимальна витрата повітря через теплообмінники призведе до переохолодження деталей, при цьому буде прискорюватися знос та знижуватись ефективність ДВЗ.

Базова модифікація дизеля 5ДН12/12х2 в своєму складі не має автоматизованих засобів керування роботою системи охолодження. Важливою задачею, вирішення якої сприяє досягненню найкращих показників, є розробка оптимальних алгоритмів керування виконавчими механізмами системи.

При створенні алгоритму дій для системи керування роботою системи охолодження дизеля (СКСОД) типу 5ДН12/12х2, спираючись на базові експлуатаційні вимоги, що висуваються заводом виробником визначено параметри що необхідно регулювати та контролювати: температура охолоджуючої рідини та оливи, частота обертання ротора вентилятора. Вихідним керуючим параметром є частота обертання ротора вентилятора. В алгоритмі контролюється максимальна тимчасова температура охолоджуючої рідини, за якої допускається експлуатація ДВЗ. Розрахунково підтверджена матриця оптимальних параметрів частоти обертання ротору вентилятора в залежності від частоти обертання колінчастого валу дизеля та середньої кількості теплоти за розрахунковий цикл на «звичайному» режимі роботи. Алгоритм керування має режим роботи «прогрівання», що включає в себе характеристики прогрівання дизеля заводом виробником.

Застосування оптимізованого алгоритму СКСОД дозволяє витримати рекомендовані оптимальні температури теплоносіїв, та скоротити втрати потужності пов'язані на відведення теплоти системою охолодження.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ С РАЗНЫМ КОЛИЧЕСТВОМ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПЕРЕМЕННЫХ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА

Фесенко К.В., Чувилик Е.В.

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»,
г. Харьков*

Создание новых и совершенствование существующих центробежных компрессоров (ЦБК) возможно только с применением расчетных методов, позволяющих моделировать течение газа с высокой точностью и надежностью. Использование таких подходов позволяет существенно сократить усилия, средства и время, затрачиваемые на проектирование и проведение дорогостоящих экспериментальных исследований.

Эффективность работы ЦБК зависит, прежде всего, от газодинамического совершенства его проточной части и лопаточных венцов. Поэтому в данной работе проведено исследование возможностей улучшения параметров рабочего колеса ЦБК с помощью математических моделей с разным количеством пространственных переменных, описывающих течение в таких объектах.

Исследование течения в рабочем колесе ЦБК проведено с помощью метода расчета характеристик ступеней центробежных компрессоров по среднemasсовым параметрам, а также метода поверочного расчета двумерного течения в ступени ЦБК, разработанных в Проблемной научно-исследовательской лаборатории газотурбинных двигателей и установок кафедры Теории авиационных двигателей Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». Данные подходы позволяют определять суммарные характеристики, а также структуру течения в ступени ЦБК на основании заданных геометрических параметров лопаточных венцов и проточной части, а также режима работы по расходу и частоте вращения ротора. Кроме этого проведено исследование течения в рабочем колесе центробежного компрессора в программном комплексе *ANSYS CFX*.

В работе представлены полученные в результате расчётов распределения и изолинии параметров потока по высоте проточной части. Суммарные характеристики рабочего колеса ЦБК, полученные расчетным путем и экспериментально, удовлетворительно согласовываются. На основании трех математических моделей рабочего колеса ЦБК, отличающихся количеством пространственных переменных, исследованы два варианта модификации геометрических параметров рабочего колеса ЦБК, а именно: изменение геометрического угла и ширины проточной части на выходе из рабочего колеса. На основании проведенных расчетных исследований разработаны следующие рекомендации по улучшению исходного варианта рабочего колеса: для повышения значения коэффициента напора и политропического КПД, а также получения широкой зоны работы компрессора по расходу газа необходимо увеличить геометрический угол или ширину на выходе из рабочего колеса.

ВПЛИВ КОЕФІЦІЄНТУ ГІДРАВЛІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ СИСТЕМИ ЗБОРУ ТА ТРАНСПОРТУВАННЯ ГАЗУ

Філіпчук О.О., Савчук М.Т.

ПАТ «Укргазвидобування»,

м. Київ

На сьогодні більшість газових родовищ в Україні знаходяться на завершальній стадії експлуатації. Поступове зниження пластового тиску призводить до того, що обладнання на УКПГ, шлейфи і газопроводи, системи видобутку та збору газу експлуатуються на тисках значно менших за проектні, а зниження дебіту свердловин є причиною транспортування газу трубопровідною системою з продуктивністю, яка у декілька разів менша за проектну, що в свою чергу призводить до накопичення значних об'ємів рідини в порожнині газопроводів та шлейфів і сприяє збільшенню гідравлічного опору окремих їх ділянок, що в підсумку є причиною зменшення видобутку газу з свердловини.

Проаналізовано існуючий стан промислового трубопроводу на ділянці від УКПГ 1 Скворцівського НГКР до УКПГ 2 Юліївського НГКР. Проведено розрахунок із визначення гідравлічної ефективності даного відрізка промислового газопроводу. Проведено розрахунок об'єму забруднень.

Із результатів проведених досліджень встановлено, що показник коефіцієнта гідравлічної ефективності залежить від низки чинників, а саме якості підготовки газу на УКПГ, зміни продуктивності, перепаду тиску на проміжку, профілю рельєфу, температурного режиму, шороховатості труб, об'єму накопичених забруднень та виконання умови гідратуутворення.

Досліджено, що основними причинами утворення рідинних забруднень в порожнині промислового газопроводу є неякісна підготовка газу (фізично та морально застаріле обладнання) та високий вологовміст в газі.

Після проведення досліджень розроблено ряд заходів для вирішення донної проблематики, а саме:

- Заміна фізично та морально застарілого обладнання, а саме сітчастих сепараторів;

- Встановлення на виході із УКПГ 1 Скворцівського НГКР розширювальної камери для запобігання «залповим викидам» рідинної фази в промисловий газопровід;

- Розроблено та обґрунтовано економічну доцільність будівництво паралельного газопроводу (лупінгу), для забезпечення стабільної роботи, а також можливості нарощування видобутку на УКПГ та роботи паралельних ниток в режимі руху газового потоку в трубопроводі, який відповідає квадратичній зоні турбулентного режиму, що унеможливорює процеси локалізації рідини, і забезпечує зниження граничних швидкостей газу і відповідно зменшення надлишкових втрат тиску.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИСТКИ НКТ ШЛЯХОМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ОЧИСНОГО ПРИСТРОЮ

Філіпчук О.О., Савчук М.Т.

ПАТ «Укргазвидобування»,

м. Київ

На даному етапі експлуатації родовищ, найбільшого газовидобувного підприємства України (ПАТ «Укргазвидобування») більшість родовищ експлуатується на завершальній стадії розробки, що характеризується істотним зниженням пластового тиску, низькими дебітами свердловин, високим вмістом пластової води і вуглеводневого конденсату в пластовій продукції.

Продуктивність газового родовища визначається дебітом свердловин, який залежить від ряду факторів, основним з яких є гідравлічний опір системи збору газу, збільшення якого призводить до падіння дебіту свердловин. Тому один із шляхів підвищення продуктивності газовидобувного підприємства є комплекс заходів, спрямованих на зниження гідравлічного опору системи збору газу, до якої слід віднести газозбірні колектори, шлейфи та насосно-компресорну колону самої свердловини.

Розроблено та запатентовано корисну модель пристрою для очистки внутрішньої поверхні насосно-компресорних труб від рідини.

Використання заданого пристрою витіснення рідини з порожнини НКТ на практиці вимагає оцінки характеру руху по НКТ в процесі очистки, зокрема визначення часу переміщення його від вибою до гирла свердловини. З цією метою використано математичне моделювання процесу переміщення механічного пристрою під тиском газу по стовбурі свердловини.

Встановлено, що із зростанням лінійної координати очисного механічного пристрою його швидкість зменшується, що пояснюється розширенням газу в свердловині і внаслідок цього зменшенням його потенціальної енергії. Так, при питомій масі рідини, 0,2 кг/м швидкість руху пристрою змінюється від 1,77 м/с в початковому перерізі до 0,58 м/с на висоті 1000, тобто на 67,2 %. Збільшення питомої маси рідини в НКТ також призводить до зниження швидкості руху пристрою. При збільшенні питомої маси рідини до 0,4 кг/м початкова швидкість знижується до 0,98 м/с, тобто на 44,6 %, а кінцева – до 0,37 м/с, тобто на 11,9 %.

Одержані залежності швидкості руху пристрою в залежності від лінійної координати (висоти положення поршня в НКТ) дозволяють побудувати закон руху в формі $x=x(t)$.

На основі математичного моделювання отримано закономірність характеру руху очисного механічного пристрою в насосно-компресорних трубах свердловини в процесі підвищення її гідравлічної ефективності і витіснення рідкої фази. Отримані результати дозволяють побудувати характер руху пристрою в часі для прогнозування загальної тривалості процесу.

ЗНАХОДЖЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ТЕМПЕРАТУР ЕЛЕКТРИЧНИХ НАГРІВАЧІВ ПРОМИСЛОВОЇ ПЕЧІ

Хайдуров В.В.

*Київський міжнародний університет,
м. Київ*

У роботі розглянуто актуальне завдання промислової оптимізації. Необхідно знайти оптимальні температури точкових електричних нагрівачів, які вмонтовані в піч з ціллю підвищення ефективності її роботи та отримання максимально близької температури об'єкта цієї печі до наперед заданої.

Вступ. Обернені задачі теплопровідності (ОЗТ) – це особливий клас завдань промислової оптимізації, який зводиться до знаходження чисельного розв'язку конкретної задачі на умовний екстремум, причому обмеженням у такій задачі виступає саме рівняння теплопровідності. Задача, яка розглядається у роботі зводиться до знаходження чисельного розв'язку ОЗТ.

Основна частина. З ціллю підвищення ефективності роботи промислової печі, в неї вмонтовано точкові нагрівачі, розташування кожного з яких задається двома просторовими координатами x та y . Потрібно знайти такі значення температур цих нагрівачів, щоб кінцеве значення температури на об'єкті, який знаходиться всередині печі, було близьке до наперед заданого (необхідного). Для простоти ми обмежимося геометрією задачі елементарної форми: об'єкт печі – прямокутник, який поміщено в область печі (рис.1).

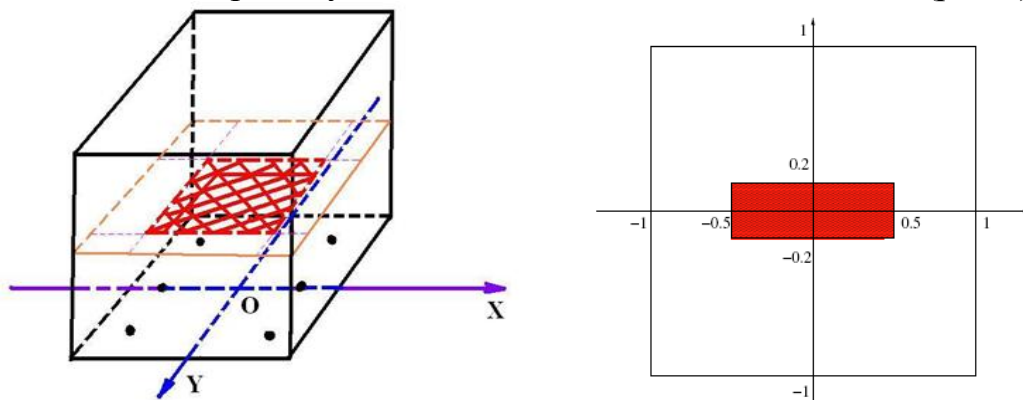


Рис.1 – Положення об'єкта всередині печі

У промислову піч (рис.1) вмонтовано шість точкових нагрівачів. Для кожного з них необхідно визначити оптимальне значення температури. [1]

Висновки. Подібні задачі мають технічний характер. Розрахунок температур нагрівачів найефективніше здійснювати методом кінцевих різниць або методом кінцевих елементів.

Література:

1. Klibanov M.V. Approximate Global Convergence and Adaptivity for Coefficient Inverse Problem. / M.V. Klibanov, L. Beilina. – USA.: Springer, 2012. – 407p. ISBN 978-1-4419-7804-2.

ПОДХОД «ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ» К НАХОЖДЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛЕЙ ТЕПЛО-МАССООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Цейтлин М.А., Райко В.Ф.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Основными параметрами, характеризующими интенсивность процессов тепло- массообмена, протекающих при непосредственном контакте газа и жидкости, являются коэффициенты тепло и массопередачи. Точность знания их величин определяет надежность расчета и проектирования соответствующих аппаратов. В то же время, непосредственное экспериментальное определение столь важных параметров вновь разрабатываемых тепло- массообменных устройств встречается с проблемами, возникающими при измерении концентрации и температуры жидкости и газа по отдельности. Брызги жидкости и изменение влажности газа уже в процессе отбора являются источником ошибок. Другая проблема точности измерений – усреднение температур и составов по площади сечения аппарата.

Целью работы была разработка метода определения величин коэффициентов тепло- и массопередачи, основанного на измерении расходов, составов и температур контактирующих потоков только на входе и выходе из исследуемого аппарата. Для достижения этой цели был применен подход «обратной задачи». Как известно – это тип задач, когда значения параметров модели должны быть получены из наблюдаемых данных. В нашем случае наблюдаемыми данными были параметры входящих и выходящих из аппарата потоков, а искомыми параметрами – коэффициенты переноса массы и теплоты.

Применение предложенной методики рассмотрим на примере исследования процесса концентрирования раствора хлорида натрия в градирне. Программа, разработанная для определения коэффициентов переноса энтальпии и массопередачи включает два основных блока. Собственно математическую модель исследуемого аппарата и блок нахождения коэффициентов. Модель противоточного колонного аппарата, в свою очередь, содержит блок расчета элемента аппарата (тарелки, элемента высоты насадки) и условия перехода от элемента к элементу, позволяющие по найденным в эксперименте значениям параметров газа на входе в аппарат и жидкости на выходе из него рассчитывать параметры потоков на выходе газа и входе жидкости.

Задачей, решаемой в блоке подбора коэффициентов переноса, является нахождение таких значений этих коэффициентов, при которых результат расчета модели аппарата с заданной точностью совпадет с результатами опытов. При разработке алгоритма подбора коэффициентов передачи энтальпии и массы из достаточно широко представленного в литературе набора подходящих для этого приемов, был выбран метод «деления отрезка пополам».

Разработанная методология использована в исследованиях тепло- массообменных аппаратов с противоточными тарелками различных конструкций, по результатам которых спроектированы и внедрены ряд теплоутилизационных аппаратов.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТАЛОГІДРИДНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМ ЗБЕРІГАННЯ ВОДНЮ

Чорна Н.А.

*Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного
НАН України, м. Харків*

У зв'язку з перспективністю використання водню, як екологічно чистого енергоносія, ростом масштабів його виробництва, розширенням областей застосування особливу актуальність набуває проблема тривалого, економічного, компактного та безпечного його зберігання.

Метою дослідження є розробка обґрунтованого підходу до створення раціональної конструкції металогідридної системи зберігання водню.

Для рішення комплексу проблем, що забезпечують створення раціональних досконалих конструкцій акумуляторів водню використана математична модель, що описує нестационарний процес термосорбційної взаємодії металогідріда (МГ) з воднем, яка дозволяє здійснити вибір гідридоутворюючого матеріалу з необхідними характеристиками; визначити геометрію та структуру шару, а також розташування теплообмінних поверхонь; дати оцінку ефективності методів інтенсифікації термосорбційного процесу та обрати найбільш доцільний метод в залежності від цільового призначення; оптимізувати параметри конструкції відповідно до заданих характеристик, які визначають загальну вагу системи, робочі тиски, необхідні витратні параметри, діапазон температури й ін.

Проаналізовано та надано оцінку ефективності методів інтенсифікації сорбційних процесів у металогідридних елементах систем зберігання водню. Встановлено, що оптимальні режими роботи металогідридної системи зберігання водню визначаються у відповідності з термодинамічними та теплофізичними характеристиками термосорбційних процесів.

У ході чисельного дослідження показана перевага методу інтенсифікації сорбційного процесу шляхом оснащення металогідріда теплопередачею матрицею, яка конструктивно виконана з пластин оребрення. Встановлено, що тривалість десорбції водню із шару МГ теплопередачею матрицею з мідних пластин у 3,0 рази менш, ніж у шару МГ із додаванням порошкової суміші міді та у 4,3 рази менш, ніж у шару МГ без вкзаних елементів інтенсифікації.

Досліджено вплив зміни геометрії внутрішнього оребрення акумулятора водню з діаметром 0,04 м на процес тепломасопереносу в МГ. Для обраної конструкції акумулятора водню найбільш доцільною товщиною мідної пластини оребрення є $\delta=1,0 \cdot 10^{-4}$ м в діапазоні зміни товщини в межах 20 %. При дослідженні впливу відстані між пластинами на процес десорбції водню встановлено, що при зменшенні проміжку між пластинами, процес інтенсифікується. Однак збільшення кількості пластин оребрення на одиницю довжини акумулятора веде до скорочення корисного об'єму МГ і, як наслідок, до зменшення вмісту в ньому водню (до 13 %). Для обраної конструкції акумулятора водню відстань між пластинами оребрення товщиною $\delta=1,0 \cdot 10^{-4}$ м не повинна перевищувати $5,0 \cdot 10^{-3}$ м.

РОЗРОБКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ ПРИНЦИПІВ СТВОРЕННЯ МЕТАЛОГІДРИДНИХ СИСТЕМ ЗБЕРІГАННЯ ВОДНЮ

Чорна Н.А.

***Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного
НАН України, м. Харків***

Металогідридна технологія переробки водню є одним з напрямів водневої енергетики, що активно розвивається. Металогідридні установки являють собою поки що нетрадиційні системи, котрим властивий ряд особливостей, що потребують вирішення задач як конструкційного, так і технологічного характеру на всіх етапах від розробки до пусконаладжувальних робіт. Найважливішим фактором, який обумовлює ефективність установки, є вибір оптимальних режимів роботи основних функціональних елементів металогідридної системи. У зв'язку з цим необхідна розробка методики з визначення основних технічних характеристик металогідридних установок ще на етапі створювання та дослідження їх параметричних характеристик з метою ефективності роботи цих систем.

Досягти поставленої мети передбачається шляхом проведення досліджень ключових елементів металогідридних установок з метою створення універсальних систем, що повністю забезпечують споживачів різними видами енергії.

Основними завданнями роботи є:

- розробка науково-технічних принципів створення металогідридних систем зберігання водню на основі результатів математичного моделювання робочих процесів в установках енергетичного та технологічного призначення;
- розробка технологічних схем та методів компонування основних елементів високоефективних металогідридних систем;
- технологічні рекомендації та технічна документація по удосконаленню конструкції елементів установок металогідридних систем з метою підвищення їх енергоефективності;
- удосконалення металогідридних елементів на основі розроблених рекомендацій для систем перетворення низькопотенційної теплоти з метою підвищення ефективності їх роботи;
- розробка пропозицій по втіленню перспективних високоефективних металогідридних систем зберігання водню на промислових підприємствах України для підвищення ефективності їх роботи та зменшення техногенного впливу на навколишнє середовище.

У результаті узагальнення інформації, отриманої при проведенні розрахунково-теоретичних досліджень термосорбційних процесів, розроблена методика розрахунку конструктивних характеристик металогідридних елементів, яка дозволить створити зразки металогідридної техніки, що забезпечать перехід на якісно новий рівень технологій зберігання та переробки водню.

ПРЕИМУЩЕСТВА СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА С УТИЛИЗАЦИЕЙ ТЕПЛОТЫ.

Ярошенко Т.И.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

В большинстве случаев центральные системы кондиционирования воздуха (СКВ) регулируются по методу точки росы. Однако этот способ часто приводит к перерасходу энергии, затрачиваемой на обработку воздуха, вследствие необходимости расхода тепла на второй подогрев даже тогда, когда энтальпия наружного воздуха превышает энтальпию приточного воздуха. Это тепло, в свою очередь, увеличивает нагрузку системы холодоснабжения.

Недостатки этого метода удастся скомпенсировать при использовании метода регулирования кондиционеров по оптимальным режимам. При этом методе используется зависимость расходов холода и тепла от различной последовательности процессов обработки воздуха в кондиционере. Применение метода оптимальных режимов экономически целесообразно, если производительность СКВ равна или больше 15 тыс. м³/ч для промышленных зданий и 10 тыс. м³/ч для общественных зданий.

Кроме указанных методов регулирования, при которых производительность СКВ оставалась постоянной и изменялись только параметры приточного воздуха, т. е. осуществлялось качественное регулирование, в настоящее время применяется также количественное и количественно – качественное регулирование. СКВ с количественным и количественно – качественным регулированием потребляют меньше холода, тепла и электроэнергии, чем СКВ с качественным регулированием. Широкому применению этих методов препятствует малая аэродинамическая устойчивость систем воздухораспределения, а также определенные ограничения на минимальный необходимый расход приточного наружного воздуха, определяемый санитарно-гигиеническими нормами и условиями поддержания требуемых параметров воздуха в помещении.

В связи с вышеизложенным наиболее перспективными современными системами кондиционирования и вентиляции представляются установки, оборудованные системами утилизации теплоты вытяжного воздуха. Эти системы в холодный период года применяются для нагрева приточного воздуха, имеющего температуру ниже 5 °С, что позволяет экономить расход тепла в калориферах. Применение аппаратов косвенного испарительного охлаждения в системах утилизации позволяет эффективно использовать их и в теплый период года для охлаждения приточного наружного воздуха. Кроме того теплота утилизации может использоваться для устройства воздушно-тепловой завесы, обеспечивающей сохранение теплового баланса кондиционируемого помещения.

СЕКЦІЯ 6. НОВІ МАТЕРІАЛИ ТА СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ІМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ГАРТУВАННЯ НА ВЛАСТИВОСТІ ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ

Афанасьєва О. В.¹, Дощечкіна І. В.², Лалазарова Н. О.², Ситников П. А.³

¹*Харківський національний університет радіоелектроніки,*

²*Харківський національний автомобільно-дорожній університет,*

³*Національний технічний університет*

«Харківський політехнічний інститут», м. Харків

В роботі наведені результати досліджень впливу параметрів імпульсного лазерного гартування на структуру і властивості сталей 20 і 40. Технологічні можливості лазерного гартування дозволяють використовувати цей процес в якості кінцевої операції без подальшої механічної обробки, отримувати нетрадиційні комбінації фізичних, хімічних і механічних властивостей в поверхневих робочих шарах [1]. До особливостей методу поверхневого зміцнення відноситься висока швидкість нагріву і охолодження, локальний і імпульсний характер (він зберігається і для безперервного випромінювання) та як наслідок автогартування об'ємів виробів, нагрітих до температур вище критичних.

Лазерне зміцнення проводилося з використанням YAG:Nd⁺³- лазера з середньою потужністю випромінювання 5 Вт. Основним параметром, що варіювався, була обрана тривалість імпульсу. Частота проходження імпульсів становила 20 Гц, діаметр плями фокусування \square 0,8 мм. Сталі піддавали попередній термічній обробці за двома режимами – поліпшення і відпал. Енергія в імпульсі вимірювалася калориметричним методом. Властивості зміцненого шару контролювали за мікротвердістю, яку вимірювали на ПМТ-3 (навантаження 100 г).

Аналіз отриманих результатів показав, що попередня термічна обробка (вихідна структура) значно впливає на структуру поверхневих шарів та їх властивості після зміцнення. Після лазерного гартування відпаленої сталі 40 мікротвердість в 1,3 рази вище, ніж поліпшеної. При цьому для кожної сталі існує певне значення щільності енергії, що дозволяє отримати максимальну твердість. При підвищенні вмісту вуглецю оптимальна щільність енергії збільшується.

До помітних структурних змін призводить і зменшення /збільшення кількості імпульсів випромінювання. У зв'язку з короткочасністю дії імпульсів при нагріванні сталі утворюється вкрай неоднорідний за кількістю вуглецю твердий розчин \square аустеніт. При збільшенні кількості імпульсів до 5 концентрація вуглецю в аустеніті вирівнюється внаслідок його дифузії з високовуглецевої фази в маловуглецеву. Вирівнювання концентрації вуглецю в аустеніті і утворення однорідної структури можна досягти збільшенням енергії імпульсів до 150 Дж/см² та їх кількості до 5-10.

Література:

1. Упрочнение и легирование деталей машин лучом лазера / В. С. Коваленко, Л. Ф. Головкин, В. С. Черненко. – К.: Техника, 1990. – 192 с.

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА СПЕЦИАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА АУСТЕНИСТНЫХ СТАЛЕЙ

Ахмед Сундус Мохаммед Нури Ахмед, Акимов О.В., Костик Е.А.

***Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», г. Харьков***

Одним из специальных свойств сплавов является эффект памяти формы, которые широко применяются в различных областях техники (специальное машиностроение, приборостроение, авиакосмическая техника, бытовая техника и др.). При этом наибольшее распространение получили сплавы на основе Ti-Ni, применяемые преимущественно в области медицины, благодаря уникальному сочетанию эксплуатационных свойств [1]. Однако данный сплав достаточно дорогой и его применение в такой области как машиностроение экономически не целесообразно. В связи с этим актуальными являются исследования, посвященные поиску и разработке новых сплавов с эффектом памяти формы, причем наибольший интерес для металлургии и машиностроения представляют сплавы на основе железа [2]. При разработке соответствующих сплавов необходимо учитывать соотношение высоких механических и эксплуатационных свойств с достаточными значениями коэффициента, характеризующего эффект памяти формы.

Исходя из заданных параметров механических, эксплуатационных и специальных свойств, теоретически был подобран химический состав сплава, был выбран состав шихты: FeMn (81,2 %), FeSi (75,8 %), C (100 %), FeCr (60,3 %), Ni (100 %), Co (100 %), Cu (100 %), V (60 %), FeNb (65 %), FeMo (60 %). Плавка сплава была проведена в вакуумной индукционной печи типа ОКБ-862

Анализ полученных результатов показал, что сплав обладает достаточными механическими характеристиками.

Исследования микроструктуры подтвердили наличие дисперсионного твердения в сплаве после режимов старения, причем после второго режима обработки карбидных включений больше, чем после первого режима обработки.

Результаты исследований показали, что степень восстановления формы предложенного сплава составляет 73-95 %.

Таким образом, предложенный сплав имеет высокую степень восстановления формы при сохранении своих эксплуатационных свойств.

Литература:

1. Акимов О. В. Сплавы с эффектом памяти формы. История появления и развития, физика процесса их уникальных свойств / О. В. Акимов, М. Н. Сундус // Вісник Національного технічного університету. – 2015. – №. 14. – С. 42-49.

2. Акимов О.В. Влияние термической обработки на свойства нового сплава на основе железа / О.В. Акимов, Сундус Мохаммед Нури // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2015. №11 (78) С.35-40. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.56370

ВЛИЯНИЕ ВОЛЬФРАМА НА СТРУКТУРУ ЖЕЛЕЗА

Бармин А.Е., Григорьева С.В.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», г. Харьков*

Современная техника предъявляет все более возрастающие требования к материалам. Более того, ее развитие в настоящее время в значительной мере зависит от наличия материалов с необходимыми свойствами. Перспективным способом улучшения эксплуатационных свойств металлических материалов является диспергирование их зеренной структуры [1, 2]. Высокие и разнообразные требования, которые предъявляют к материалам, делают необходимым детальные и глубокие научные исследования.

В связи с этим целью исследований являлось изучение структуры сплавов Fe-W, полученных в одинаковых технологических условиях. Исследование механизма диспергирования зеренной структуры матричного металла железа при его легировании вольфрамом.

Объектами исследования служили сплавы железа, легированные вольфрамом. Образцы сплавов Fe-W были получены в одинаковых технологических условиях методом сплавления в вакууме. Все отливки кристаллизовались с одинаковой степенью переохлаждения. Для минимизации влияния вредных примесей на экспериментальные результаты, при получении этих сплавов использовали компоненты вакуумной переплавки высокой чистоты $\sim 99,97\%$. В работе исследовались и сравнивались четыре типа образцов с малым количеством легирующего элемента до 1,5 ат. %.

Металлографическими и рентгеновскими фазовыми исследованиями было установлено, что исходная структура сплавов является однофазной во всем исследованном концентрационном интервале, наличие второй фазы в структуре не выявлено.

Варьирование содержанием вольфрама позволяет получать сплавы на основе железа с широким спектром структурных состояний, средний размер зерна изменяется от 2,14 мкм до 44 мкм. Увеличение содержания легирующего элемента приводит к уменьшению размаха выборки и размеров зерен, при этом зерна становятся правильной полиэдрической формы и уже не наблюдается разнорзерности.

Таким образом, в работе было показано, что эффективным средством диспергирования зеренной структуры сплавов железа является легирование тугоплавким металлом - вольфрамом.

Литература:

1. Мальцев М. В. Модифицирование структуры металлов и сплавов. Учебник. — М.: Металлургия, 1964г. 215 с. 2. Barmin A.E. Modifying Effect of Tungsten on Vacuum Condensates of Iron / A.E. Barmin, O.V. Sobol', A.I. Zubkov, L.A. Mal'tseva// The Physics of Metals and Metallography, 2015, Vol. 116, No. 7, pp. 706–710.

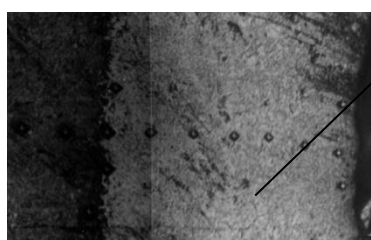
ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОФРИКЦІЙНОГО ЗМІЦНЕННЯ РОБОЧОЇ ЧАСТИНИ ЮВЕЛІРНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Волков О.О.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Можливість ефективного локального зміцнення різного роду інструменту є в наш час вельми популярним науково-промисловим питанням. Ювелірний інструмент вимоги до якого достатньо високі особливо потребує відповідних комплексів властивостей, що могло б підвищити його ресурс та якість поверхонь що оброблюються. Однак фізико-механічні властивості змінюються залежно від хімічного складу, структурного стану, умов взаємодії інструментального матеріалу з матеріалом поверхні, що оброблюється в процесі різання та під впливом підвищених температур.

У цьому зв'язку проводилося дослідження особливостей зміцнення робочої частини ювелірного інструменту, що ріже, із сталі 65Г, рис. 1.



Зміцнений шар

після загартування та ТФЗ

Рисунок 1 – Мікроструктура сталі 65 після загартування та ТФО
з відбитками від вимірювання мікротвердості

Результати експериментальний досліджень представленні в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати зміцнення штихеля при ТФО

Схема обробки	Вихідна твердість інструменту, МПа	Твердість зміцненого шару, МПа	Глибина зміцнення, мкм
Загартування + відпуск + ТФО	6 000	12 300	500

Таким чином запропоновано технологічний комплекс термофрикційного зміцнення з використанням ТФО робочої частини ювелірного інструменту, що ріже.

УТВОРЕННЯ ПОЛІГОНАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ У МЕТАЛІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ПАРОПРОВОДІВ

Глушко А.В.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

При тривалій експлуатації паропроводів, із теплостійких перлітних сталей (12Х1МФ і 15Х1М1Ф), в умовах повзучості (температура 545-585°C, тиск 20-25 МПа), в зернах α -фази проявляється ефект полігонізації. На початковій стадії утворення полігональної структури різке зниження механічних властивостей не відбувається, що можна пояснити ефектом зменшення границями субзерен довжини ліній ковзання. Наявність дифузійного переміщення хрому та молібдену з центральних зон зерен α -фази в їх приграничні зони сприяє появі нових вакансій та порогів на дислокаціях, що приводить до збільшення інтенсивності полігонізації. Найбільша ступінь полігонізації, в структурі зварних з'єднань, характерна для ділянки неповної перекристалізації зони термічного впливу (ЗТВ), рис. 1. Допускали, що ефект утворення полігональної структури, як рівень розвитку субструктури зерен α -фази, є функцією напруження та температури. Під час роботи паропроводів у режимі пусків-зупинок, перегрівів (аварійне скидання пару), що характерно для умов повзучості та втоми, враховували, як складову функції, швидкість деформування їх металу.

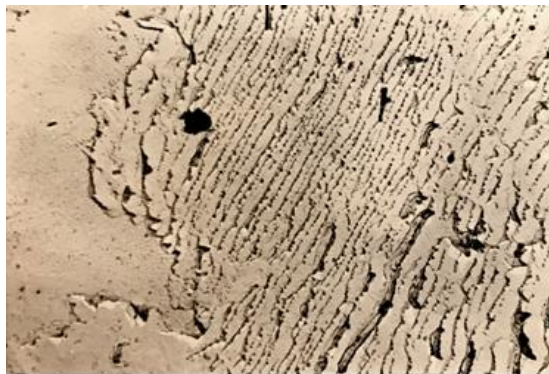


Рисунок 1 Полігональна структура металу ділянки неповної перекристалізації ЗТВ.
Зварне з'єднання зі сталі 12Х1МФ. $\varepsilon=8\%$. $\times 12000$

Інтенсивність утворення полігональної структури на ділянках ЗТВ зварних з'єднань помітно відрізняється. Встановили, що найбільшою є інтенсивність на ділянці неповної перекристалізації ЗТВ, а найменшою - в основному металі та в металі шва. При напрацюванні зварних з'єднань більше 270000 год. відмічається поява в тілі зерен α -фази субзерен, проте самі зерна не збільшуються в розмірах, а нові зерна не утворюються. Точніше їх збільшення знаходиться на початковій стадії, що підтверджується локальною ліквідацією границь зерен.

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ПОБУДОВИ ІНДИКАТОРНИХ ДІАГРАМ ПАРОПОВІТРЯНОГО ШТАМПУВАЛЬНОГО МОЛОТУ

Гончаров В. Ю., Семененко Д. О., Даниленко В.Я.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

У сучасному заготівельному виробництві одним з основних способів виготовлення деталей різних форм і розмірів є штампування на молотах, застосування якого забезпечує отримання стабільної якості поковок, що мають необхідні механічні властивості.

Термомеханічний розрахунок молота дозволяє визначити основні параметри молота. Важливим етапом в цьому розрахунку є побудова передбачуваних індикаторних діаграм, яка вимагає багато часу. У роботі розроблена комп'ютерна програма для побудови передбачуваної індикаторної діаграми для будь-якого типу пароповітряного штампувального або кузального молота. Скрин шот індикаторної діаграми холостого ходу в гору показаний на рис. 1.

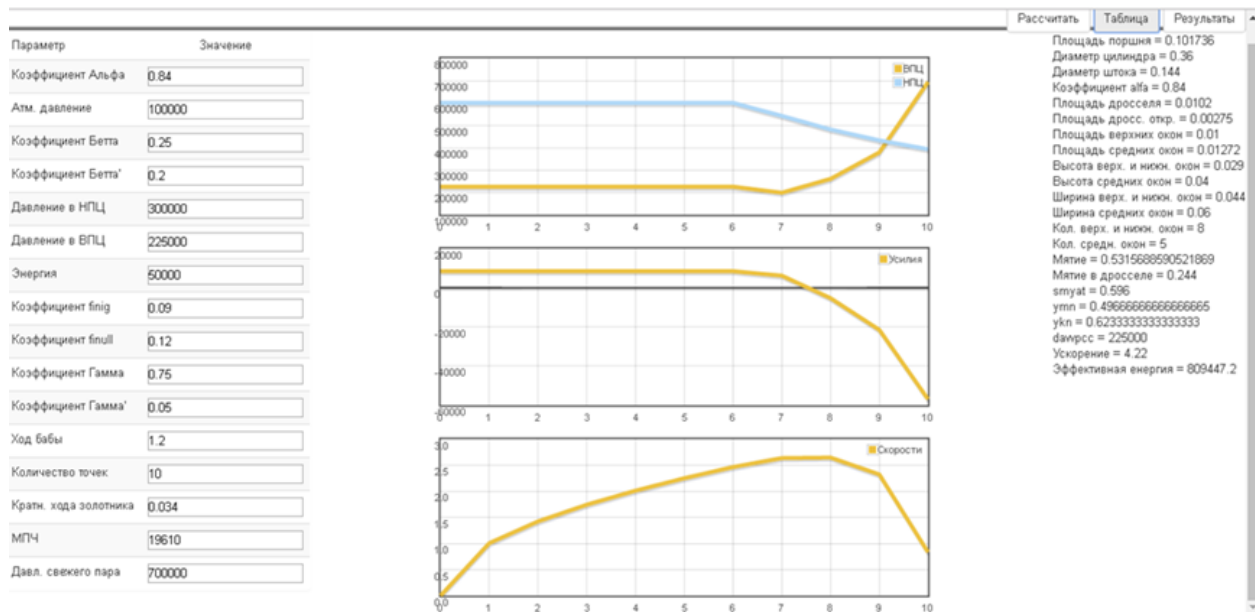


Рисунок 1 Результат побудови індикаторних діаграм, сил інерцій і графіків швидкостей при холостому ході вгору

В результаті виконаної роботи стало можливим значно скоротити час обробки результатів термомеханічного розрахунку.

ВИПРОБУВАЛЬНО-НАЛАГОДЖУВАНІ РОБОТИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

Гордієнко В.П.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків*

Випробувально-налагоджувані роботи виконують на заводах-виробниках зварювального обладнання, у виробничих умовах після монтажу, в процесі експлуатації та після ремонтів. Обсяг та норми приймально-здавальних випробувань визначені правилами влаштування електроустановок, вимогами відомчих і заводських інструкцій, а також вказівками технічних паспортів. Налагодження завершує цикл робіт з підготовки обладнання до роботи та включає кілька перевірок, пошуки дефектів та їх усунення, приймально-здавальні випробування.

Налагоджувальні роботи складаються в певній послідовності їх виконання та відбуваються в чотири етапи: без подачі напруги до схеми; з подачею напруги лише в оперативні ланцюги управління, захисту і сигналізації; з подачею напруги за постійною схемою в оперативні та зварювальні ланцюги, прокрутка і випробування механізмів; комплексне випробування установки та налаштування в режимі технологічних процесів.

Перший етап охоплює роботи з зовнішнього огляду устаткування, перевірки вторинних ланцюгів в межах щитів, пультів і шаф управління, а також розподільних пристроїв. На цьому етапі виконують виміри, випробування окремих елементів устаткування, пристроїв для заземлення, вимірюють опір ізоляції. В результаті робіт на першому етапі виявляють і усувають помилки монтажу.

На другому етапі налагоджувальних робіт вимірюють опір ізоляції вторинних ланцюгів, перевіряють змонтовані схеми управління, захисту і сигналізації. Для відшукування недоліків в схемі необхідне розуміння її роботи, перевірка, ретельний аналіз та висока професійна підготовка технічного персоналу. В результаті робіт на другому етапі виявляють усі дефекти та помилки у вторинних ланцюгах, забезпечують чіткість дії схеми в цілому і відповідність монтажу проекту.

Третій етап складається з робіт перевірки первинних ланцюгів, правильності їх підключення до зварювальних апаратів і джерел живлення, випробування електроустаткування підвищеною напругою, перевірки первинним струмом схем захисту, випробування устаткування на різних режимах.

Четвертий етап є завершальним і охоплює роботи перевірки механізмів на холостому ходу та під навантаженням в різних технологічних режимах. Роботи на цьому етапі проводять за програмою, узгодженою налагоджувальним, технологічним та експлуатаційним персоналом. Ознаками вірного налаштування обладнання є стійке горіння дуги, добре формування зварного шва, досягнення обладнанням паспортних технічних показників.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКЕ НЕПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

Горовая Е.П., Лу Ган

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Температурные поля в объеме свариваемых деталей являются важным фактором при проектировании и разработке технологии сварки. Зная температурные поля сварки, можно определить фазовые превращения в зоне сварки и около шовной зоне, уменьшить зону термического влияния, напряжения, возникающие при сварке и таким образом, получить качественное сварное соединение. Исследование тепловых процессов при сварке путем натурного эксперимента затруднительно, поскольку температура электрической дуги может достигать до 7000°C. Для исследования температурных полей при сварке используют на сегодняшний день различные прикладные программы: специализированные по сварке, например, SYSWELD, Weld3D, СВАРКА; универсальные - ABAQUS, ANSYS. Расчет процессов, происходящих при сварке в этих программах можно проводить как 2D, так и 3D моделей сварки методом конечных элементов.

Целью работы является моделирование и исследование температурных полей при электродуговой сварке встык неплавящимся электродом пластин из стали AISI 316 толщиной 3мм для дальнейшего использования полученных данных при определении фазовых превращений и сварных напряжений в металле, оптимизации технологических параметров. Моделирование тепловых полей в ANSYS Workbench включает следующие этапы: математическая постановка задачи (нестационарная теплопроводность), задание свойств материала с учетом изменения температуры, создание (импорт) геометрической модели (3D), выбор объемного конечного элемента и разбишка геометрической модели на конечные элементы, задание начальных и граничных условий, тепловой нагрузки подвижного источника тепла (дуги) в виде функции Гаусса, расчет температурных полей.

Моделирование температурных полей по данной методике дает хорошие результаты по сравнению с экспериментальными данными [1]. В результате моделирования и расчета температур в объеме свариваемых деталей получены температурные поля при различных режимах сварки.

Литература:

1. Иванченко А.Б. Моделирование температурного состояния свариваемых деталей в условиях сварки неплавящимся электродом./ А.Б. Иванченко Жэньцзе Чжань Ученый XXI века - 2015 - № 5-6 - С. 6-7.

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МОДЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКТОВ ДЛЯ ТОНКОСТЕННЫХ ОТЛИВОК

Гриценко Д.В., Мариненко Д.В. Пономаренко О.И.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Научно Производственный Центр «Европейские технологии машиностроения» специализируется на мелкосерийном производстве отливок из алюминиевых сплавов, сталей и чугунов. От требований к шероховатости поверхности и точности отливок зависит тип формовочного материала, а, следовательно, и материал оснастки.

Особый интерес представляют гипсовые формы, они позволяют получать ребра на отливке толщиной до 1мм и качество поверхности сравнимое с литьем в кокиль. Недостатком таких форм является то, что для песчано-гипсовой смеси необходим гигроскопичный материал оснастки.

Практика показала, что даже качественно полакированная влагостойкая фанера обладает коротким сроком службы (в районе двух месяцев), а также не обеспечивает необходимое качество поверхности.

Решением данной проблемы оказалось применение модели из комбинации двух материалов: пластика RAKO-TOOLS, который при правильной обработке обеспечивает хорошую чистоту поверхности, обладает высокими механическими свойствами и выполняет функции каркаса модели; и силикона, который обладает гладкой поверхностью, обладающей хорошим скольжением и не допускает прилипания гипсовой смеси к своим стенкам, достаточной упругостью и хорошей гибкостью. Поскольку на станке механически обрабатывается только пластик, а силиконовая модель образуется уже по пластиковой оснастке, получается, избежать зазоров между элементами модельного комплекта, а поэтапная формовка жидкой смеси, обеспечивает плотное прилегание элементов уже готовой формы.

В качестве среды проектирования выбран программный продукт SolidWorks, что позволяет минимизировать затраты материала на производство модельного комплекта, а также спроектировать ЧПУ обработку.

Выбранные материалы для модельных комплектов удовлетворяют установленным требованиям, таким как: сохранение размеров в течении длительной эксплуатации (2000 съёмов), высокое качество обработанной поверхности, доступность, хорошая обрабатываемость, гигроскопичность, не токсичны.

Конкурентная рыночная цена на литье была достигнута благодаря выбранным материалам и инструментом проектирования.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ДИФфуЗИОННОЙ СВАРКИ КОРУНДОВОЙ КЕРАМИКИ

Гутенёв А. С., Ситников П. А., Ефименко Н. Г.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

В настоящее время среди новых неметаллических материалов широкое распространение получила керамика, основу которой составляют технически чистые оксиды Al_2O_3 , BeO , ZnO_2 , MgO и др. Обладая высокой механической прочностью, огнестойкостью, термической и химической устойчивостью, хорошими диэлектрическими параметрами, оксидная керамика находит широкое применение в развивающихся отраслях техники.

Из всех существующих в настоящее время оксидных металлов значительную роль в удовлетворение потребностей современной техники в новых конструкциях и материалах, принадлежит корундовой керамике, кристаллическую структуру которой образует чистый оксид алюминия Al_2O_3 . Это объясняется её высокими физико-механическими и другими свойствами, а также доступностью сырья – технического глинозёма.

Вакуумно-плотные изделия из спеченного глинозёма (корунда) находят самое разнообразное применение. Их используют как конструкционный материал в атомной энергетике, в электровакуумной и радиоэлектронной технике, в авиационной, ракетостроительной и других отраслях.

Целью настоящего исследования явилась разработка режимов диффузионной сварки стыковых соединений труб диаметром от 5,5 до 120 мм и длиной от 30 до 1000 мм, изготовленных из корундовой керамики.

Сварку производили с использованием лабораторной вакуумной установки при различных тепловых режимах при двух условиях – первая партия образцов сваривалась в среде вакуума ($1 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст.), вторая в обычных условиях. Перед сваркой на свариваемые торцы трубок наносилась паста оксида магния (MgO). Нагрев производили при температурах 1200 – 1700°C с выдержкой от 0,25 до 2 ч, давлением от 1 до 10 МПа.

После сварки проводились металлографические исследования. Сварные соединения испытывали на разрыв и вакуумную плотность.

В результате исследований установлено:

- оптимальным термическим условием, которое обеспечивает качество сварного соединения, является нагрев до 1500 °C в течение 1 часа;
- качество сварных соединений мало зависит от условия вакуума или без вакуума;
- применение при сварке пасты MgO в качестве прослойки влияет на повышение качества сварного шва и сварного соединения в целом.

Таким образом, при использовании пасты MgO в качестве прослойки установлена возможность получения трубчатых сварных соединений из корундовой керамики, обладающих требуемым качеством.

КЕРУВАННЯ ІНДУКЦІЙНИМИ ДУПЛЕКС-ПРОЦЕСАМИ ПЛАВКИ

Димко Є. П.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Керування індукційними дуплекс-процесами плавки в цехах сучасних машинобудівних підприємств має вирішувати декілька задач, що є в певному розумінні конкурентними. Наприклад, вимоги забезпечення заданої продуктивності можуть конкурувати з вимогами забезпечення якості сплаву. Вимоги зменшення енерговитрат конкурують з вимогами до продуктивності. Таким чином, можна говорити про наявність проблеми однозначного вибору критерію якості керування. Відповідно, вибір методу пошуку оптимального управління не є однозначним і вочевидь залежить від того, який критерій ефективності процесу індукційної плавки обирається пріоритетним на конкретному промисловому виробництві. Зважаючи на це, слід відмітити складнощі, що пов'язані з розв'язанням відповідних задач пошуку оптимального керування, тим більш за умов, що немає однозначного розуміння щодо математичного опису об'єкта керування – технологічного процесу індукційної плавки.

Запропонована процедура визначення оцінок коефіцієнтів рівнянь регресії типу «склад – властивості» комбінуванням методів штучної ортогоналізації та реалізації центрального ортогонального композиційного плану другого порядку дозволяє в умовах конкретного промислового виробництва на основі обробки даних з хімічного аналізу сплаву та визначення механічних властивостей, що надходять в режимі серійних плавок з заводської лабораторії, побудувати адекватну математичну модель для подальшого використання в автоматизованому виробництві чи системах підтримки прийняття рішень щодо визначення керуючих дій в кампанії плавки.

Розроблена процедура визначення кінцевого стану системи дозволяє практикам, що приймають рішення щодо управління кампанією плавки та термочасової обробки, виконувати оптимальні керуючі дії забезпечуючи за обраним пріоритетним або компромісним критерієм якості керування.

Запропонована процедура визначення оптимального керування процесом доведення розплаву до заданої якості в індукційних печах може бути застосована в системі керування автоматизованими індукційними тигельними печами, як частина заходів щодо модернізації існуючих типових рішень щодо систем керування індукційними печами.

Розроблена процедура формування блоку логічних умов може бути використана при розробці комбінованої системи керування, що вирішує задачу оптимального регулювання температурного режиму індукційного міксеру як елемент інтегрованої системи керування комплексом плавительно-заливального обладнання ливарного цеху.

ДУГОВАЯ СВАРКА СТАЛЕЙ В СМЕСИ ЗАЩИТНЫХ ГАЗОВ

Дмитрик В.В., Касьяненко И.В.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Процесс дуговой механизированная сварка в среде CO_2 характеризуется относительно низкой стабильностью и повышенным разбрызгиванием жидкого металла. Коэффициент потерь металла находится в пределах от 6 до 12%. Часть брызг расплавленного металла, частично в закристаллизовавшемся состоянии, попадает в расплав сварочной ванны, что способствует образованию шлаковых включений в металле шва. Наличие включений приводит к снижению свойств металла шва сварных соединений паропроводов и к увеличению уровня его повреждения при длительной эксплуатации в условиях ползучести.

Использование газовых смесей $\text{CO}_2 + \text{Ar}$ и $\text{Ar} + \text{CO}_2$ позволяет повысить стабильность горения электрической дуги, улучшить текучесть расплавленного металла, обеспечить струйный перенос расплавленного электродного металла в сварочную ванну. Рабочий диапазон использования силы тока и напряжения при сварке в приведенных газовых смесях заметно расширяется, что позволяет достигнуть оптимальной формы металла шва.

Экспериментально установили, что при механизированной сварке в смеси 50% $\text{CO}_2 + 50\% \text{Ar}$ дуга горит стабильно, ее управляемость является высокой, а разбрызгивание – минимальным. В металле шва практически отсутствуют шлаковые включения. Глубина проплавления основного металла при сварке в уменьшается незначительно (<10%).

Разработанный процесс механизированной дуговой сварки в $\text{CO}_2 + \text{Ar}$ целесообразно рекомендовать при заварке выборок поврежденных элементов паропроводных систем энергоблоков ТЭС.

Использование механизированной сварки в $\text{CO}_2 + \text{Ar}$ позволяет увеличить на 15-20% длительную прочность сварных соединений паропроводов из сталей 15X1M1Ф и 12X1МФ по сравнению с аналогичными сварными соединениями, изготовленными путем применения штатных режимов. Установили, что за период наработки сварных соединений из стали 12X1МФ 250000 - 280000 ч снижение длительной прочности при температуре 545 °С достигает примерно 20% вместо 30%, что характерно для аналогичных сварных соединений, изготовленных по штатной технологии. Соответственно, для сварных соединений из стали 15X1M1Ф – 25 и 35%.

Установили, что стабильность жаропрочных свойств сварных соединений из Cr-Mo-V теплоустойчивых перлитных сталей, длительно эксплуатируемых в условиях ползучести зависит от качественных характеристик их исходной структуры. Такие характеристики можно повысить путем применения новой технологии – процесса механизированной сварки в $\text{CO}_2 + \text{Ar}$.

ДО ВДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛЮВАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНОГО НАГРІВУ З'ЄДНАНЬ, ЯКІ ВИГОТОВЛЯЮТЬСЯ

Дмитрик В.В., Туренко М.І.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Розглядаємо проблему оптимізації тепловкладання в основний метал шляхом уточнення параметрів режиму зварювання. В цій роботі уточнюємо оцінки температурних полів в з'єднаннях які виготовляються, що дозволить забезпечити умови для формування структури зварних з'єднань з поліпшеними якісними характеристиками.

Для уточнення оцінки температурних полів доцільно вдосконалювати структуру математичних моделей зварювального нагріву з'єднань які виготовляються. Розглянемо, зварювання комбінованого ротора з двох різнорідних сталей 25Х2НМФА і 20Х3МВФА. Оптимізований зварювальний нагрів на ділянці сплаву зони термічного впливу (ЗТВ) дозволяє знизити інтенсивність дифузного переміщення атомів молібдену, ванадію і вольфраму з α -фази, що призводить до зменшення ступеня її легування і утворення карбідів 2-ої групи.

Моделі теплових задач процесів дугового зварювання в більшості представляються як сполучені. Розв'язання таких задач виконується в умовах рівнянь задачі Нав'є-Стокса для рідкої фази, і в умовах закону Фур'є для твердої фази. Розподіл полів швидкостей потоків рідкого металу ванни має вплив на геометрію самої ванни, а також формуються мікроструктури і, відповідно, на властивості металу шва і ділянок ЗТВ. На теперішній час виникають проблеми існування, єдності та стійкості крайових задач для рівнянь Нав'є-Стокса, а саме те, що вони не є цілком розв'язаними. Переконливі результати отримують для плоских задач, більш докладно вивчені течії в замкнутих об'ємах. Точних аналітичних розв'язань рівнянь Нав'є-Стокса також мало. Для розв'язання використовують асимптотичні розкладання, наприклад, по числах Рейнольдса, чи залучають групові методи. Більшість робіт присвячена отриманню чисельних результатів. Використовують сіткові методи, які з недостатньою точністю апроксимують границі. Від цього недоліку в деякій мірі звільний метод скінченних елементів (МСЕ). Розробка обчислювальних методів, які при заданих умовах з малою кількістю ступенів свободи забезпечують мінімальну похибку, залишається актуальним завданням.

Вдосконалення чисельного методу визначення температурного режиму в зварних з'єднаннях, що виготовляються дозволяє підвищити точність апроксимації, стійкість і економічність реалізації теплових задач. Реалізація удосконаленого методу забезпечить отримання розрахункових даних значень температур, як основу практичного підбору відповідних параметрів режимів зварювання, що дозволить отримати оптимальну вихідну структуру зварних з'єднань з теплостійких мартенситних і перлітних сталей.

К ДЕГРАДАЦИИ МЕТАЛЛА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПАРОПРОВОДОВ

Дмитрик В.В., Лешихин К.С.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

В сварных соединениях паропроводов из теплоустойчивых перлитных сталей (15X1M1Ф, 12X1MФ), длительно эксплуатируемых в условиях ползучести проходят физико-химические процессы, обеспечивающие структурное изменение их металла и соответствующее его пластическое деформирование. Изучение особенностей физико-химических процессов целесообразно для снижения их интенсивности, увеличения стабильности структуры, уменьшения деформации и снижения уровня повреждаемости сварных соединений, что приведет к продлению ресурса их эксплуатации.

Структурное состояние металла сварных соединений имеет определенную структурную неоднородность. Наибольшая неоднородность характерна для зоны термического влияния (ЗТВ) сварных соединений на участках которой, в зависимости от сварочного нагрева, формируются соответствующие структуры. Наличие структурной неоднородности способствует увеличению интенсивности физико-химических процессов, проходящих в металле сварных соединений, длительно эксплуатируемых в условиях ползучести. Такие процессы на участках неполной перекристаллизации, перегрева и сплавления ЗТВ сварных соединений проходят с большей скоростью, чем в металле шва и в основном металле.

Структурное состояние металла сварных соединений обуславливает сложный характер его деформаций. В процессе наработки паропроводов (250...280 тыс. ч), при массовой деформации их металла составляющей 0,5...0,7%, металл участка неполной кристаллизации ЗТВ деформируется на 4...8%, а металл участка перегрева – на 2...3.

Процесс деформации металла сварных соединений обеспечивается перемещением дислокаций по механизму переползания (преимущественно) и по механизму скольжения (в меньшей степени). Выявили, что в кристаллах α -фазы (металл сварных соединений паропроводов) преобладающими плоскостями скольжения являются плоскости с индексами $\{110\}$ и $\{112\}$, что близко к известным результатам выявления систем скольжения в о.у.к. металлах. На участке неполной перекристаллизации ЗТВ, где новые продукты распада аустенита представляют глобуляризованный перлит, обнаружили отдельные плоскости скольжения с индексами $\{123\}$, что требует уточнения. Целесообразно выявить степень деформации металла участков ЗТВ, а также уровень деформации по границам α -фазы, что связано с зарождением пор ползучести и последующим их превращением в трещины ползучести. Также важно выявить вклад деформации по границам зерен в общую деформацию металла на каждом из участков ЗТВ.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ РОТОРНОЙ СТАЛИ

Дмитрик В.В., Шалыгин М.А.

***Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков***

Проблема повышения надежности и увеличения ресурса сварных соединений энергетического оборудования приобретает возрастающую актуальность. Эксплуатационные характеристики в значительной мере определяется исходной структурой сварных соединений.

Сварные соединения из стали 25ХНМФА (ТУ 108.1082.82) характеризуется наличием крупнозернистой структуры на участках сплавления и перегрева зоны термического влияния (ЗТВ) и новых продуктов распада аустенита в виде глобуляризованного перлита на участке неполной перекристаллизации. Приведенные структуры можно отнести к браковочным.

Заварку корневого шва производили с использованием электродной проволоки Св 08Г2С (ГОСТ 2246-70), а для заварки основного шва использовали электродную проволоку UnionS3 NiMo, munSZ3Ni2,5CzМопо EN14295. Для защиты зоны сварки (шов 1-2) использовали флюс марки UV-420TTmunSAFB 165 DCпоEN76. Предварительный и сопутствующий подогрев при сварке составлял 350·°C.

Для уточнения оценки увеличения ресурса сварного соединений определяли кратковременные механические свойства, коэрцитивную силу и плотность дислокаций, а также изучали структуру вырезанных образцов. Выделение карбидных фаз проводили в специальном электролите при плотности тока 5·10⁻⁶ А/м³ и температуре 8-12°С. Полученный в виде порошка осадок, подвергали рентгеноструктурному исследованию в хромовом излучении, а также исследованию потенциометрическим методом, что позволило разделить осадок по типу карбидных фаз. Остаточный аустенит определяли после травления в реактиве: 1г FeCl+30 млHCl+0,3 мл зефирана + 100 мл CH₃OH.

Установили, что при сварочном нагреве металла участков сплавления и перегрева ЗТВ в область температур выше 1300°С, в аустените растворяются почти все соединения и элементы, значительное количество которых концентрируется по границам аустенитных зерен.

Путем замеров и последующего усреднения определяли ширину участков ЗТВ опытных образцов сварных соединений. Учитывали, что структурное состояние рассматриваемых участков характеризуется определенной структурной однородностью.

СТРУКТУРА, ПРОЧНОСТНЫЕ И ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ СВОЙСТВА ВАКУУМНЫХ КОНДЕНСАТОВ Cu-Ta

Жадько М.А., Ламанова А.А., Кучерский В.Ю.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Особенностью системы Cu-Ta является отсутствие между компонентами взаимной растворимости и химических соединений в равновесных условиях, как в твердом, так и в жидком состояниях. Температура кипения меди, составляющая 2560°C, меньше температуры плавления тантала – 2980°C. Эти обстоятельства не позволяют получать сплавы меди с танталом технологиями плавки – литья. Их синтезируют в основном порошковыми и вакуумно-плазменными методами, реализуя широкий спектр структурных состояний: аномальные пересыщенные растворы, гетерогенные системы с микро- и нанометровой размерностью. Эти объекты демонстрируют высокие прочностные свойства и термическую стабильность исходной наноразмерной зеренной структуры. Следует отметить, что большая часть исследований посвящена материалам, которые получены порошковыми методами. Информация о прочностных и электрофизических свойствах пленок, фольг и покрытий, получаемых вакуумно-плазменными технологиями, и взаимосвязи этих свойств со структурой практически отсутствует. В этой связи целью данной работы явилось изучение структуры, прочностных и электропроводящих свойств фольг конденсатов Cu-Ta, получаемых испарением-конденсацией составляющих компонентов в вакууме (PVD технология).

Изучены структура, прочностные и электропроводящие свойства вакуумных конденсатов Cu-Ta в диапазоне концентраций тантала 0.1-3 ат.%. Установлено, что тантал оказывает модифицирующее действие на конденсаты меди, повышая их прочностные свойства и диспергируя зерненную структуру до нанометровой размерности. Показано, что оптимальное сочетание прочностных свойств и электропроводности демонстрируют конденсаты, содержащие ~ 0,4 ат.% Ta. При этом предел прочности достигает ~ 1000 МПа при электропроводности, составляющей ~ 50 % от однокомпонентной меди. Основной вклад в достигнутый уровень прочности вносит зернограничное упрочнение, которое обусловлено как снижением размера зерна медной матрицы, так и увеличением коэффициента Холла-Петча. Наблюдаемые закономерности объясняются формированием атомами тантала сегрегаций на границах зерен медной матрицы в виде моноатомных адсорбционных слоев. Характер концентрационных зависимостей прочностных и электропроводящих свойств объясняется закономерностями формирования структуры конденсатов при осаждении двухкомпонентного пара меди и тантала на неориентирующих подложках.

ВПЛИВ ОКСИДУ АЛЮМІНІЮ НА СТРУКТУРУ ТА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВАКУУМНИХ НАНО ДИСПЕРСНОЗМІЦНЕНИХ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ МІДІ

Зозуля Е.В., Терлецький О. С.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Висока міцність вакуумних нано дисперснозміцнених композитів (НДК), як і інших полікристалічних ДК, зв'язується з відомими законами Холла-Петча і Орована, тобто з спільною дією зернограничного і дисперсного зміцнень. Перший описує підвищення міцності матеріалу при зменшенні розміру зерен, другий – підвищення міцності при зниженні відстані між частинками, що не перерізаються дислокаціями. Застосування методу вакуумної конденсації дозволяє отримати субмікроструктурну структуру і рівномірно розподілені в матриці нанодисперсні частинки оксиду алюмінію і відповідно, реалізувати високі характеристики міцності. Останні обумовлені, як відомо, закономірностями деформаційного зміцнення і ресурсом пластичності.

Метою роботи було дослідження впливу нанодисперсних частинок оксиду алюмінію на структуру, характеристики міцності й пластичності НДК.

Досліджені НДК системи $\text{Cu-Al}_2\text{O}_3$ завтовшки до 40 мкм, що містять менш 3 об.% Al_2O_3 . Дисперсність зерен матриці і зміцнюючих частинок варіювали зміною температури підкладки (T_p).

Встановлено, що збільшення вмісту зміцнюючої фази призводить до нелінійного росту умовної границі текучості ($\sigma_{0,2}$). Інтенсивне зростання значень $\sigma_{0,2}$ спостерігається при введенні Al_2O_3 до 1 % об., подальше збільшення вмісту частинок мало впливає на величину $\sigma_{0,2}$. Одночасно відбувається зниження відносної деформації до руйнування (δ) від 12–18 % до 1 % і менш – матеріал стає не технологічним і ненадійним.

Співвідношення між вкладами зернограничного і дисперсного зміцнень в умовну границю текучості, залежно від вмісту оксиду, представляє несиметричну дзвоноподібну криву, що спадає на нескінченності. Дослідження цієї немонотонної залежності показало існування двох точок перегину. Абсциси точок перегину ділять вісь концентрацій на три ділянки. На першій темпи росту вкладу зміцнень від границь зерен і двійників максимальні. На другій приріст $\sigma_{0,2}$ визначається більше дисперсним зміцненням від частинок. На третій, перехідній, яка включає і точку екстремуму з максимальним внеском зернограничного зміцнення (до 90 % від дисперсного), співвідношення швидкостей зростання вкладів звертається. Пониження температури T_p при отриманні НДК викликає зміщення цих груп у бік більшого вмісту оксиду.

Отримані результати дозволили встановити вимоги до структури конденсатів НДК і технологічних параметрів їх отримання з метою поєднання високого рівня міцності та пластичності.

**ПРОГНОЗУВАННЯ ГАЗОУСАДКОВОЇ ПОРИСТОСТІ В ЛИТИХ
ПОРШНЯХ ДВЗ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМП'ЮТЕРНО –
ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ МОДЕЛЮВАННЯ**

Золотар Л.С., Акімов О.В., Чибічик О.А., Ідріс Г. Г

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Найбільш важливою вимогою при отриманні якісних литих поршнів визначеної геометричної конфігурації на початкових етапах їх виготовлення є мінімальна наявність таких дефектів як усадкові рихлоти, раковини та газова пористість.

Для моделювання процесу кристалізації литого поршня була обрана ІКС LVM Flow 2.91. Створення 3D-моделі виконувалось з врахуванням вимог до виливків, що виготовляються в кокілях з застосуванням можливостей програм Solid Works та LVM Flow. Як досліджувана деталь для комп'ютерно – інтегрованого моделювання був взятий поршень Д 240-1004021.

Для прогнозування мікропористості та газоусадкової пористості використовується критерій Ніуама, що показує направленість процесу кристалізації і є надійним інструментом для виливків. У випадку виливків зі складною геометрією його використання потребує більш ретельного аналізу результатів моделювання.

Температурний градієнт обчислюється при затвердінні в кожному вузлу виливка при проходженні точки Ніуама на кривій охолодження. Нульове значення даного параметра свідчить про відсутність направленої кристалізації в локальному об'ємі і підвищеній небезпеці виникнення пористості.

Аналіз місць розміщення дефектів показав, що найбільш можливим є утворення усадкових дефектів в масивах:

- бобишки під пальцевим отвором з величиною області розсіювання газоусадкової пористості $1 - 1,5 \text{ мм}^2$;
- днища поршня під камерою згорання з величиною області розсіювання газоусадкової пористості $0,6-0,8 \text{ мм}^2$;
- переходу від корпусу поршня до днища, в середині деталі з величиною області розсіювання газоусадкової пористості $0,6-0,8 \text{ мм}^2$.

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ

Идан Алаа Фадил Идан, Акимов О.В., Костик Е.А.

***Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков***

В современных условиях существенно увеличились нагрузки на детали машин, что связано со значительным повышением мощности и производительности машин. Это привело к тому, что известные методы увеличения долговечности стальных деталей уже не всегда способны обеспечить требуемые свойства. Поэтому возрастает интерес к применению инновационных методов упрочнения, которые представляют собой сочетание двух или нескольких технологических процессов упрочнения [1]. Такое сочетание позволяет достичь очень высокой эффективности упрочнения, которую невозможно получить каким-либо одним способом.

Целью данной работы является изучение влияния режимов упрочняющей инновационной обработки [2] на изменение свойств поверхностного слоя легированной стали.

Исследовано влияние режимов упрочняющей инновационной обработки на изменение свойств поверхностного слоя стали 38Х2МЮА. Экспериментальные данные показали, что толщина упрочненного слоя стали 38Х2МЮА в зависимости от технологических режимов комбинированной обработки варьируется в диапазоне 0,18-0,69 мм, при этом поверхностная твердость имеет значения 10,5-12,5 ГПа.

Анализ полученных результатов показал, что интенсификация процесса азотирования лазерной обработкой поверхности стали позволяет получить азотированный слой большей толщины (до 0,69 мм) и большей микротвердости (до 12,5 ГПа) по сравнению с чисто азотированными участками (без предварительной лазерной обработки), на которых толщина диффузионного слоя не превышала 0,2 мм, а микротвердость – 10,8 ГПа. Это объясняется облегчением диффузии атомов азота и повышением его растворимости, вследствие образования более дефектной структуры металла после лазерного облучения (повышение плотности дислокаций, дробление зерен и увеличение протяженности их границ, получение ультрадисперсных разориентированных зерен).

Литература:

1 Idan, A. F. I. The study of the influence of laser hardening conditions on the change in properties of steels / Idan, A. F. I., Akimov, O., Golovko, L., Goncharuk, O., Kostyk, K. // Eastern-EuropeanJournalofEnterpriseTechnologies. – 2016. – V. 2. – №. 5 (80). – P. 69-73. Doi: 10.15587/1729-4061.2016.65455

2. Идан А. Ф. И. Инновационная технология скоростного азотирования стали / А. Ф. И Идан, О. В. Акимов, Е. А. Костик // Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 49-53. Doi: 10.20998/2413-4295.2016.42.08

ОТКРЫТИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ И МИНЕРАЛОВ

Крахмалев А.В.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

История открытия редких земель наибольшее развитие получила в XVIII веке. В 1754 г. немецкий химик Маргграф отличает глинозем от извести. В следующем году шотландский химик Блэк (а также Маргграф в 1760 г.) отличает «горькую землю» (магнезию). В 1764 г. шведский химик Шееле находит тяжелую землю, баритовую. В 1781 г. Бергман различает земли: тяжелую, горькую, известковую, глинозем и кремнезем. В 1789 г. Клапрот открывает циркониевую землю, а в 1782 г. Гопе и в следующем году Клапрот находят стронциевую землю, в 1797 г. Вокелен – бериллиевую, но лишь в 1808 году разъясняется природа этих земель, когда Г. Деви из четырех земель электролитическим путем получает четыре новых металлических элемента: кальций, барий, стронций и магний. Соответствующие земли оказываются окислами этих металлов, которые в настоящее время известны под названием щелочно-земельных.

Уже тогда предполагали, что должен существовать металл, соответствующий глинозему, но лишь в 1827 г. Эрстед и Вёлер впервые получают алюминий. В 1854 г. его получает в кусках восстановлением минерала криолита Сен-Клер де Девилль. В 1855 г. Бунзен получает алюминий электролитическим путем из расплавленной двойной соли хлористого натрия и алюминия, в 1886 г. Галль – из глинозема. Из кремнезема Берцелиус уже в 1810 г. мог получить нечистый кремний накаливанием кремнезема, железа и угля. В 1823 г. он получает из кремнефтористого калия чистый кремний, а в следующем году из аналогичного циркониевого соединения получает чистый цирконий.

В 1828 г. Вёлер и Бусси получают восстановлением хлористого соединения металлический бериллий. Но еще на пороге XVIII столетия были найдены более редкие земли. Так, в 1788 г. Гейер обратил внимание на черный минерал с жирным стекляннным блеском, подробно исследованный в 1794 г. Гадолином, профессором в Або, нашедшим в этом минерале, названном сначала иттербитом, а потом гадолинитом, неизвестную землю, вновь открытую через три года Экебергом в Упсале и названную им иттриевой. Известный аналитик, берлинский химик Клапрот, исследуя эту новую землю, установил ее сложную природу, причем одной ее составной частью оказалась бериллиевая земля, а для другой сохранено название иттриевой. В 1803 г. Клапрот (и независимо от него Берцелиус и Гизенгер) нашли церий. Третью новую землю нашел Берцелиус в 1828 г. – ториевую.

Значительно расширилось знание редких земель со времени открытия Бунзеном и Кирхгофом в 1860 г. спектрального анализа. Одновременно шло развитие химико-аналитического метода. Д.И. Менделеев в 1873 г. описал новый метод разделения лантана и дидима с помощью двойных аммониевых нитратов.

СЕРЕДНЯ ТЕМПЕРАТУРА ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ВАННИ

Крахмальов О.В.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків*

Для металургійних процесів, які відбуваються в зоні зварювання, температура є найважливішим і визначальним параметром. Про температуру розплавленого металу достовірно відомо те, що вона знаходиться між температурами плавлення і кипіння. За старими знаннями (відомості наведено в [1]), величини температури кипіння дорівнюють від 2300 (Руфф, 1911 р.) до 3235°C (Мілляр, 1925 р.). В багатьох довідникових виданнях зазначена температура 2450 та 3000 °C. За даними Келлі, які ґрунтуються на дослідженні пружності пари заліза (1934 – 1936 рр.), температура кипіння заліза дорівнює 2740°C [2]. Ця величина прийнята в «Довіднику з металів» [3], в «Короткому довіднику хіміка» [4]. Н.Н. Доброхотов [5] наводить число 2735 °C. Відомості, наведені в роботах [2, 3, 4, 5], є найбільш надійними.

К. Лангбейн в 1918 р. визначав оптичним методом температуру катода і анода дуги між залізними електродами. Максимальна температура, досягнута шляхом підвищення сили струму складала, за відомостями автора, на аноді 2432 °C, на катоді °C [1].

В.Н. Шумкін [6] в 1940 р. здійснював дослідження температури крапель металу калориметричним методом. Дуга горіла на змінному струмі між двома електродами із мало вуглецевої сталі (з крейдовою обмазкою) над водяним калориметром. За питомим тепловмістом крапель визначалась їх температура. Автор отримав такі результати: струм дуги 125 - 135 А – температура крапель 209 ± 40°C; 185 - 195 А – 2245 ± 45°C; 235 - 240 А – 2340 ± 50°C.

Л.А. Кульчицький [7] визначав тепловміст крапель метала за схожою методикою. Струм дуги був в межах 200 - 240 А. Були передбачені заходи для урахування випадкових втрат. Середній тепловміст крапель становив 457 ± 7 кал/г. Розрахунок за значеннями констант заліза дав температуру метала 2310 ± 30°C.

Прямі виміри температури зварювальної ванни зробив І.Д. Кулагін [8]. Вивчаючи швидкість охолодження метала при зварюванні під флюсом, він занурював термопару в розплавлену ванну. В роботі [8] наведено результати двох вимірювань: записана температура склала 1510 та 1506°C. Мабуть, термопара вводилась наприкінці ванни.

Література:

1. Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie, 8 Aufl, System-Nummer 59: Eisen, Teil A, Lief. 8, Verlag Chemie, Berlin, 1936.
2. Славинский М.П. Физико-химические свойства металлов. Металлургиздат, М., 1952.
3. Metals Handbook, 1948 edition, ASM, Cleveland, 1948.
4. Краткий справочник химика. Сост. В.И. Перельман, под ред. Б.В. Некрасова, изд. 3, Госхимиздат, М., 1954.
5. Доброхотов Н.Н. Применение термодинамики в металлургии. Изд-во АН УССР, К., 1955.
6. Шумкин В.Н. К вопросу о порядке средней температуры стекающего в шов металла, «Труды ДВПИ им. Куйбышева», вып. 22, Владивосток, 1940.

ПРИНЦИПОВА СХЕМА РОЗРАХУНКУ ДЕТАЛЕЙ МАШИН НА МІЦНІСТЬ

Крахмальов О.В.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Установлення принципової схеми розрахунку деталей машин на міцність зробилося значним підсумком теоретичних робіт в галузі машинобудування другої половини ХІХ ст. Ця схема була відображенням синтезу знань з опору матеріалів, теоретичної механіки, теорії механізмів і машин та прикладних питань машинобудування.

Першим етапом розрахунку на міцність було встановлення діючих навантажень. Визначення зусиль, діючих на всю машину в цілому і на її окремі деталі, полягало в основі конструювання машин. Наприкінці ХІХ ст. навантаження на деталь визначались сумою усіх зовнішніх сил, діючих на неї, з урахуванням власної ваги. Найголовнішими діючими силами були зусилля, що виникають внаслідок передавання корисної роботи, сили тертя, вплив ваги частин машини, а також протидія силам інерції, відцентровим силам та ін.

Теоретичне визначення розмірів деталей машин, виходячи з умов міцності, ґрунтувалось на досягненнях науки про опір матеріалів, яка визначає взаємозв'язки між діючими зусиллями, матеріалом, розмірами та формою деталей. Розрахунок деталей на міцність став можливим після того, як визнали за необхідне проводити розрахунки виходячи не від руйнуючої сили, а від робочого навантаження. При цьому передбачалась відома із досвіду гранична величина міцності для конкретного матеріалу, яка при поділенні на запас міцності надає так звану припустиму напругу. Дослідження вчених в 50–60-х роках надійшли до висновку, що характер навантаження впливає на міцність матеріалу. Багаторічні досвіди німецького вченого А. Велера виявили, що при виборі допустимих напружень необхідно урахувувати характер діючих зусиль. К. Бах розповсюдив висновки із досвідів Велера над залізом та сталлю майже на всі метали. За правилом А. Велера та К. Баха величини допустимих напружень для чавуну і сталі поділяються на три категорії, які знаходяться між собою в співвідношенні 3 : 2 : 1 відповідно до характеру діючого навантаження. Перша категорія навантажень характеризується тим, що діюча сила є постійною за величиною та напрямом. До другої категорії навантажень належать такі навантаження, при яких діючі сили змінюються за величиною, залишаючись постійними за напрямом. Якщо діючі сили змінюються за величиною і за напрямом, то вони належать до третьої категорії.

Урахування характеру навантаження при машинобудівних розрахунках і правила А. Велера і К. Баха першим запровадив П.К. Худяков. В «Атласі конструктивних креслень деталей машин» (1888 - 1889) були розміщені формули розрахунків на міцність і наведені нові нормативи допустимих напружень.

ЗАДАЧІ РАЦІОНАЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

Крахмальов О.В.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Провідну роль в розвитку машинобудування відіграє конструювання сучасного зварювального обладнання. Задачі конструкторів в загальному вигляді можна сформулювати таким чином: 1) покращення якості обладнання, підвищення його технічного рівня, продуктивності, надійності та безпеки; 2) комплексна автоматизація і механізація зварювального обладнання; 3) розроблення та впровадження обладнання для нових технологічних процесів зварювання.

Процес створення обладнання складається з таких етапів:

1. Обґрунтування необхідності створення нового обладнання.
2. Дослідження науково-технічних і патентних винаходів.
3. Розроблення конструкторського проекту.
4. Виготовлення, випробування та доведення дослідних зразків.
5. Підготовка документації для серійного виробництва та його організація.

Зміна обладнання на промислових підприємствах здійснюється в середньому кожні 5 – 7 років. Теоретичні основи його створення і принципи дії зберігаються протягом 10 – 15 років. Тому під час обґрунтування необхідності розробки обладнання оптимальним терміном прогнозу є період 15 років.

Вихідними даними для розробки обладнання є:

1. Робочі креслення виробу, де вказані зварні з'єднання і зазначено основний і зварювальні матеріали.
2. Технічні умови на виготовлення, що містять:
 - а) технічні умови на основні та зварювальні матеріали, вимоги до хімічного складу, фізико-хімічні властивості, шорсткість поверхонь та ін.;
 - б) технічні умови на виготовлення (підготовка кромок, зазори, якість збирання та ін.);
 - в) технічні умови на приймання виробів, якість та контроль.
3. Умови експлуатації виробу.
4. Обсяг річного випуску виробів.
5. Тип виробництва залежно від заданої виробничої програми і номенклатури.
6. Умови виробництва (цех, будівельно-монтажна ділянка).
7. Існуючий технологічний процес виготовлення та його техніко-економічні показники.
8. План і розріз цеху.
9. Режим роботи цеху та коефіцієнт змінності.
10. Тарифні сітки та ставки за розрядами.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ХОЛОДНОЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ПЛУНЖЕРОВ ПОРШНЕВЫХ НАСОСОВ

**Левченко В.Н., Даниленко В.Я., Кузьменко В.И.,
Тарасов М.Н., Лактионов Е.В.**

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Плунжерные (поршневые) насосы широко используются в системах подачи воды, нефтедобывающей и пищевой отраслях, в быту. Плунжер насоса является одной из наиболее важных частей насосов (рис. 1).



Рисунок 1 – Геометрическая модель плунжера насоса

Изготовление заготовок плунжеров резкой из прутка с последующей механической обработкой связано с высокой трудоемкостью и низким коэффициентом использования материала. Обычно эти детали насосов изготавливают из стали 18ХГТ. Одной из наиболее перспективных технологий изготовления заготовок для плунжеров является холодное объемное выдавливание (ХОШ). К главным достоинствам ХОШ относятся: высокая производительность, низкий процент идущего в отход металла и высокая точность, значительное деформационное упрочнение металла при ХОШ позволяет отказаться от трудоемкой операции термообработки. Проведенные методом конечных элементов расчеты и экспериментальные исследования показали, что изготовление заготовки плунжера за два перехода требует значительного усилия на первом переходе. Выдавливание заготовки плунжера за три перехода позволяет снизить нагрузки на инструмент и повысить его стойкость. Выдавливание заготовки плунжера совместно с алюминиевым сердечником за три перехода не требует дальнейшего применения операции завальцовки для их соединения. Для всех трех вариантов технологии на основе моделирования методом конечных элементов получены усилия деформирования, исследовано напряженно-деформированное состояние заготовки и определена степень использования ресурса пластичности материала, что позволяет разработать конструкции штампов и выбрать необходимое оборудование.

ЩОДО ОСОБЛИВОСТЕЙ ПИТАННЯ ПО ТЕХНОЛОГІЇ ЛАЗЕРНОГО ЗВАРЮВАННЯ ТОНКИХ ЛИСТІВ

Маршуба В.П., Анугні Каджи Вільям Ландрі
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків

У народному господарстві широко використовуються конструкції з групи матеріалів (чорних і кольорових металів і сплавів), що мають малу і особливо малу товщину. До цієї групи необхідно віднести матеріали з листового прокату товщиною менше 1 мм. Вироби з цієї групи широко застосовуються для різних цілей, від пакувального матеріалу (фольга), до різних приладів (сильфоні компенсатори і гнучкі металеві рукава). Необхідність їх використання продиктована особливими умовами роботи.

Призначення і умови роботи даних виробів пред'являють до них свої специфічні вимоги. Зварене з'єднання повинно мати достатню міцність і герметичність. Робота в агресивному середовищі, у тому числі і при високих температурах, вимагає підвищеної корозійної стійкості. Крім того, дані вироби повинні мати підвищену надійність. Це викликано тим, що вони, як правило, використовуються в відповідальних вузлах, що, перш за все, відноситься до виробів різних напрямків розвитку техніки.

Основною причиною зниження якості шва при зварюванні тонкостінних деталей є надлишкове теплове вкладення від зварювального джерела. В результаті цього збільшуються зазори між листами, що зварюються, і, як наслідок, при зварюванні виникають пропали, не сплавлення, не провару. Зварений шов має нестабільні розміри.

Застосування контактного шовного зварювання для виготовлення тонких матеріалів обмежується досить високим відсотком браку, крім того, також виникають значні труднощі при зварюванні тонкостінних деталей з більш масивними і зварювання деталей малих розмірів. Основним недоліком електронно-променевого зварювання тонких матеріалів є необхідність створення вакууму в робочій зоні, що знижує продуктивність і підвищує вартість виробництва. Крім того, виникають значні труднощі при поєднанні розгортки пучка зі стиком зварюваних деталей.

Необхідна якість зварного з'єднання при зварюванні тонких матеріалів може бути отримано за допомогою імпульсного лазерного зварювання. Даний метод забезпечує мінімальне теплове вкладення в деталі, і лазерний промінь відносно легко поєднувати зі стиком деталей, що зварюються. Впровадження лазерного зварювання при виробництві листового матеріалу замість дугового і контактного зварювання дозволяє знизити відсоток дефектних виробів і трудомісткість їх виготовлення, а також збільшити продуктивність у порівнянні з іншими видами зварювання (перш за все електронно-променевого), а також дозволять підвищити продуктивність процесу зварювання, і, відповідно, знизити собівартість продукції.

ЩОДО ОСОБЛИВОСТЕЙ ПИТАННЯ ПО ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ РОТОРІВ ПАРОВИХ ТУРБІН

Маршуба В.П., Горбач П.С., Широков С.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

У практиці експлуатації парових турбін відомі серйозні аварії в результаті пошкодження їх роторів. Велику увагу залучили такі випадки: аварія на теплової електростанції в США (штат Теннессі, 1974); аварія в Росії на Каширської ГРЕС-4 (жовтень 2002 г.); аварія в Україні на одному з енергоблоків Придніпровській ТЕС (2007 г.); аварія в Росії на ВАТ «ЗСМК» (2010 р). Тоді, як ротори є один з найбільш відповідальних вузлів парової турбіни. Вони несуть на собі робочі лопатки, що утворюють разом з направляючими лопатками, розташованими в корпусі циліндра, проточну частину турбіни, і передають на генератор крутний момент, що виникає від окружного зусилля, що розвивається потоком пара на лопатках.

Для роторів і валів турбін використовують високоміцні вуглецеві або леговані жароміцні сталі. Матеріалами дисків служать як проста вуглецева сталь, так і спеціальні сталі (хромонікелева, хромо-молібденова і інші).

Для цільнокованих і комбінованих роторів ЦВТ і ЦСТ найбільш часто вживаються сталі марок 20ХЗМВФ, 25Х1М1Ф, 25Х1М1ФЛ, що володіють високим опором повзучості і термічної втоми. Найбільш часто зустрічаються такі несправності: абразивний, ерозійний знос; «корозійне розтріскування під напругою» і «корозійне розтріскування, що утомлює» в розвантажувальних отворах роторів і в маточинах дисків; пошкодження шийок роторів, що відбуваються внаслідок повного або часткового припинення подачі масла в підшипники, а також при користування брудного або обводненого турбінного мастила.

Однією з важливих проблем експлуатації парових турбін є пошкодження вхідних кромок робочих лопаток ступенів низького тиску в результаті крапельної ерозії. Незважаючи на застосування різних способів зниження ерозійного зносу, актуальність цієї проблеми згодом тільки зростає.

Вибір способу наплавлення проводився з урахуванням геометрії відновлюваних ділянок, розміру виробів, складності організації виробництва. найбільш доцільним способом наплавлення є ручне дугове наплавлення електродом, що не плавиться, з дротом, що присаджують. Якість зварних з'єднань титанових сплавів визначається, головним чином, надійністю захисту зони зварювання і чистотою інертного газу. У зв'язку з високою хімічною активністю титану при підвищених температурах і особливо в розплавленому стані необхідно забезпечення надійного захисту від атмосфери не тільки зварювальної ванни, але і всіх ділянок металу, нагрітих вище 400°C, т.п. до температур, при яких починається помітне взаємодія титану з газами атмосфери.

ДО ПИТАННЯ, ЩОДО ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ ЦИСТЕРН

Маршуба В.П., Копосов В.В.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

При виробництві залізничних цистерн існують кілька вузьких місць в технології їх виготовлення, що пов'язані із зовнішніми проблемами. До цих проблем необхідно віднести процес зварювання листових полотнищ обичайок. Проблеми пов'язані з реаліями сьогодення, якщо раніше протягом тривалого часу поточно-механізовані лінії для складання і зварювання листових полотнищ обичайок працювали в умовах, коли зміна габаритів заготовок була відсутня, тобто вони працювали з максимальною продуктивністю, через однотипності продукції, що випускається. То в даний час існує три проблеми: з одного боку, необхідно в умовах зростаючих вимог ринку, піклується про розширення номенклатури продукції, що випускається, що часто вимагає зміну геометрії заготовок; з іншого боку, через порушення, що намітилися в господарських зв'язках з постачальниками, виникла ситуація з використанням нестандартних заготовок з різними геометричними параметрами, тобто визначальним фактором все частіше стає не конструктивний, а ринковий, а саме нестабільність умов придбання та поставки листового металопрокату; через перші дві проблеми, стабільна високопродуктивна робота поточно-механізованих ліній для складання і зварювання листових полотнищ обичайок порушується, з одного боку через неможливість швидкого переналагодження обладнання, з іншого - знижується продуктивність цих ліній. Все це веде до простою обладнання, або до неможливості його використання в існуючих умовах. У цьому випадку доводиться виконувати зварювання полотнищ шляхом послідовного зварювання кожного стику на одному робочому місці, на одній флюсовій подушці (при зварюванні першої сторони), тобто робота одним зварювальним автоматом з постійними пересуваннями полотнища.

Незважаючи на універсальність такої технології (вона абсолютно не залежить від ширини зварюваних листів), при її використанні в рази знижується продуктивність роботи обладнання і випуск продукції в цілому. Підвищити продуктивність обладнання ліній складання й автоматичного зварювання листових полотнищ обичайок залізничних цистерн в кілька разів можливо: шляхом спрощення конструкцій поточних ліній при постійні зміни розкрою полотнищ; розробкою технології зварювання під шаром флюсу на існуючих швидкостях (до 30 м/ч) без використання будь-яких пристроїв для запобігання протікання зварювальної ванни (наприклад, флюсових подушок). При цьому для досягнення максимальної продуктивності нинішніх ліній складання і зварювання полотнищ в умовах стабільних розкриємо на стендах зварювання полотнищ досить буде мати один-два зварювальні автомата і стільки ж флюсових подушок на стендах зварювання першої сторони.

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ НА ГРАНИЦАХ СЛОЕВ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ НАНОПЕРИОДНЫХ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ TiN_x/ZrN_x

Мейлехов А.А., Соболев О.В., Сагайдашников Ю.Е.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Структурная инженерия композиционных вакуумно-дуговых покрытий хотя и является относительно молодым направлением инженерии поверхности, однако для ряда систем позволила получить материалы с очень высокими функциональными характеристиками. При этом состояние границы между слоями является определяющим фактором многих эксплуатационных характеристик.

Целью работы является изучение влияния перемешивания на границах слоев в многослойных нанопериодных покрытиях на основе TiN_x и ZrN_x используя комплекс методов аттестации структурного состояния в сочетании с компьютерным моделированием.

Многослойные двухфазные наноструктурные покрытия TiN_x/ZrN_x осаждались в вакуумно-дуговой установке «Булат-6». В качестве материалов катодов использованы: титан ВТ 1-0; малолегированный цирконий; активный газ – азот (99,95 %). Ток дуги в процессе осаждения составлял 100 А, постоянный отрицательный потенциал $U_b = -70...-110$ В, давление азота (P_N) в камере варьировалось в интервале $10^{-5}...5 \cdot 10^{-3}$ Торр, температура подложки (T_s) была в интервале $250...350^\circ\text{C}$.

Покрытия исследовались методами рентгеновской дифрактометрии, растровой электронной микроскопии, микроиндентированием и компьютерным моделированием в программе TRIM.

Выявлено формирование двух фаз (TiN и ZrN) с одним типом кристаллической решетки (структурный тип NaCl) в слоях многопериодных композиций TiN_x/ZrN_x с величиной периода $\Lambda = 20...300$ нм.

При $\Lambda = 10$ нм рентгенографически проявляется образование твердого раствора $(Zr,Ti)N$, а также малого объема TiN фазы. Наличие TiN составляющей обусловлено большей исходной величиной слоя на основе нитрида титана.

Использование метода моделирования радиационно-стимулированных повреждений материала при облучении ионами позволило определить критическую толщину перемешивания в бислойной системе TiN_x/ZrN_x . Эта толщина при действии $U_b = -110$ В составляет около 7 нм.

Установлено, что критическая толщина радиационно-стимулированного дефектообразования оказывает существенное влияние на напряженно-деформированное состояние и твердость в покрытиях с малым $\Lambda \approx 10$ нм. При этом происходит релаксация напряженно-деформированного состояния сжатия и уменьшается твердость. Однако образование твердого раствора при сохранении части непрореагировавшего слоя нитрида титана при $\Lambda = 10$ нм позволяет достичь сверхвысокую (44,3 ГПа) твердость покрытия.

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ И СОСТАВА РАБОЧЕЙ АТМОСФЕРЫ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ КАРБОНИТРИДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ МОЛИБДЕНА

Мейлехов А.А., Соболев О.В., Масликов В.Е.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

В последнее десятилетие наблюдается повышенный интерес к наноструктурным материалам, полученным вакуумно-плазменными методами, в которых при уменьшении размера кристаллитов до нанометрового диапазона может происходить качественное изменение структурных состояний.

Целью работы является изучение влияния рабочего давления и соотношения компонент смеси газов ($C_2H_2+N_2$) на элементный и фазовый составы, структуру и физико-механические характеристики формируемых вакуумно-дуговых покрытий на основе молибдена.

Покрытия были получены вакуумно-дуговым методом на модернизированной установке «Булат – 6». Давление рабочей ($C_2H_2+N_2$) атмосферы при осаждении составляло $P = (0,3-3) \cdot 10^{-3}$ Торр, скорость осаждения при этом была около 2 нм/с. В качестве материалов катода использовался молибден марки МЧВП. Параметры осаждения: ток дуги $I_d = 105$ и 160 А. В процессе осаждения на подложки подавался постоянный отрицательный потенциал смещения (U_b) величиной – 200 В.

Покрытия исследовались методами растровой электронной микроскопии в сочетании с энергодисперсионным элементным микроанализом, рентгеноструктурным анализом, микроиндентированием и скретч-тестированием.

Так как при высоких температурах нитриды характеризуются более низкой термодинамической стабильностью, чем соответствующие карбиды, то они взаимодействуют с газообразными соединениями углерода с образованием соответствующих карбидов (карбонитридов).

Установлено, что в температурном интервале осаждения 400-550°C в результате плазмо-химических реакций при составе газовой атмосферы 80% $C_2H_2+20\%N_2$ максимальное содержание атомов азота в покрытии не превышает 1,5 ат.%. Для состава 40% $C_2H_2+60\%N_2$ максимальное соотношение N/C (в ат.%) достигает около 10% атомов азота (при 60% в рабочей атмосфере). Относительное содержание атомов азота увеличивается с повышением давления смеси.

Установлено, что определяющим фактором повышения твердости является рабочее (суммарное) давление смеси газов при осаждении. При наибольшем давлении $PC_2H_2+N_2 = 3 \cdot 10^{-3}$ Торр, когда формируется текстура [100] нанокристаллитов карбида молибдена (γ - MoC – PDF 451015) достигается сверхтвердое состояние с твердостью 50,5 ГПа.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМОВКИ ПРОФИЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ В ВАЛКАХ

Плеснецов Ю.А., Христиченко А.Н., Христиченко Е.Н.
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков

В ряде отраслей экономики Украины широко применяются профили переменного сечения типа швеллеров, изготовленных листовой штамповкой. Основным их преимуществом является возможность получения равнопрочных конструкций применительно к конкретным условиям работы при наименьшем расходе металла. Наиболее перспективным способом получения профилей переменного сечения представляется профилирование в валках профилегибочного стана.

Теоретический анализ выполнен с использованием уравнений течения вязких механики сплошных сред (получено поле скоростей перемещений металла в очаге деформации), а также зависимостей для расчета кулачковых механизмов. Для опробования возможности производства профилей переменного сечения формовкой в валках выбран профилегибочный стан 2-5×50-670, который был дооборудован специально сконструированными валками, элементы которых могут смещаться в осевом направлении при профилировании, а также механизмами их смещения. Исследования, выполненные на заготовке толщиной 3 мм, показали принципиальную возможность промышленного производства таких профилей.

Вместе с тем, исследования позволили также выявить ряд особенностей процесса формообразования, которые могут затруднить промышленное освоение разработанной технологии:

- при толщине заготовки более 3 мм смещение формующих элементов валков было затруднено, происходило несвоевременно, что вызвало переформовку профиля и в ряде случаев – заклинивание валков;
- по мере увеличения суммарного угла подгибки полок сопротивление смещению формующих элементов резко возрастало, валки заклинило, и их смещение не происходило.

Установлено, что после того, как угол подгибки достигает величины 90°, временной интервал формовки участка переменной ширины резко возрастает. Это приводит к увеличению зазора в калибре валков, при котором невозможно отформовать место изгиба на участке переменной ширины. Получена зависимость, обеспечивающая расчет разновременного смещения подвижных элементов верхнего и нижнего валков, что обеспечивается индивидуальными приводами механизма смещения каждого из них. Полученные аналитические зависимости могут быть использованы в качестве исходных при разработке технологических приемов, направленных на сведение к минимуму неравномерности деформаций по сечению профиля («смягчение» режима формовки, создание дополнительных продольных деформаций в местах изгиба) и, в конечном итоге, на повышение качества готовых профилей переменного сечения.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВАЛКОВОЙ ФОРМОВКИ ПРОФИЛЕЙ С ПЕРИОДИЧЕСКИ ПОВТОРЯЮЩИМИСЯ ГОФРАМИ

Плеснецов Ю.А., Христинченко Е.Н., Христинченко А.Н.

**Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков**

Изготовление профилей с периодически повторяющимися гофрами жесткости сопровождается значительными прогибами валков формирующей клетки, их износом и проскальзыванием металла в валках, что приводит к недоформовке периодических гофров, отклонению периода от номинального размера. Полученные результаты, обеспечили возможность повышения качества металлопродукции при значительных объемах ее производства, совершенствование технологических процессов, повышение их стабильности.

Разработана методика компенсации прогиба валков при валковой формовке профилей с периодически повторяющимися гофрами. Применение разработанной методики позволит стабилизировать размеры профилей с периодически повторяющимися гофрами, получить на них гофры более точной конфигурации, компенсировать износ элементов на основе использования системы унификации валков. Для продления срока службы комплектов валков, разработана новая калибровка (рис. 1), в которой, в отличие от существующей, предусмотрена компенсация износа элементов на основе использования системы унификации валков диаметром 491,5 мм. Каждый элемент имеет радиусы округления 25 мм у обоих торцов.

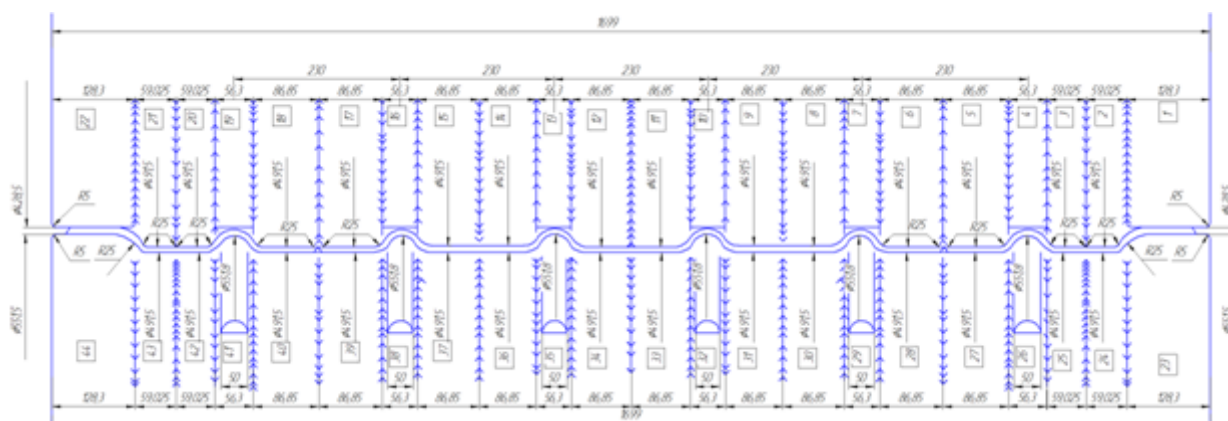


Рисунок 1 – Калибровка валков для производства профиля крышки люка, компенсирующая износ формующих элементов

Применяя поворот элементов на 180° , а также перестановку их с верхнего валка на нижний и наоборот, можно существенно повысить качество профилей при одновременном увеличении срока службы валков. Полученное уравнение для определения линейной скорости заготовки в клети, предшествующей формующей, рекомендуется к использованию при разработке технологии формовки вновь осваиваемых профилей с периодически повторяющимися гофрами.

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПОКОВОК КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ

Подколзин М. В., Кузьменко В. И.

***Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков***

В работе рассмотрены вопросы производства заготовок осесимметричных кольцевых деталей типа колец подшипников методами горячей объемной штамповки, их преимущества и недостатки.

Известные технологии штамповки таких изделий имеют следующие недостатки: возможна потеря устойчивости заготовки, наблюдается низкая стойкость штампового инструмента, необходимы большие усилия для формообразования, отсутствуют методики по выбору оборудования и проектированию инструмента, имеет место высокий расход металла из-за штамповочных уклонов, что повышает трудоемкость последующей механической обработки. Поэтому возникла необходимость усовершенствовать известные методы штамповки колец подшипников, в том числе для комплексной кузнечной линии с одним нагревом.

Цель работы – разработать новые схемы производства заготовок и практические рекомендации по усовершенствованию технологии штамповки, выбору инструмента и оборудования для ее реализации.

Задачи – провести сравнительный анализ существующих схем штамповки колец подшипников, выбрать технологию для комплексной кузнечной линии с одним нагревом; предложить пути усовершенствования технологического процесса, провести анализ формоизменения заготовки в процессе штамповки; предложить практическую методику проектирования и выбора инструмента и оборудования для штамповки.

Выводы: в процессе работы были рассмотрены существующие методы обработки давлением поковок колец подшипников [1, 2]. Изучены проблемы, возникающие при изготовлении заготовок данного типа. Были предложены технологические схемы производства, разработаны варианты штамповки заготовок колец подшипников на горизонтально-ковочных машинах и кривошипных горячештамповочных прессах. Определены направления дальнейшего усовершенствования технологического процесса изготовления колец подшипников, в том числе по комплексной схеме, когда одновременно штампуется два кольца – внутреннее и наружное.

Литература:

1 Лобанов В. К., Накутный И. Е. Осесимметричная раздача кольцевых поковок коническим инструментом / Виктор Лобанов, Игорь Накутный //Кузнечно-штамповочное производство. – 1975. – №12. – С. 9-12.

2 Накутный И. Е. Исследование и разработка усовершенствованных процессов производства осесимметричных заготовок с использованием операции раздачи: дис. ... канд. техн. наук /Накутный Игорь Евгеньевич. – Харьков: Харьк. авиац. институт, 1981. – 163 с.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ВАКУУМНО-ДУГОВЫХ ПОКРЫТИЙ ХРОМА И ЕГО НИТРИДОВ

Постельник А.А., Соболев О.В.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

В настоящее время структурная инженерия является одним из наиболее востребованных научно-технических направлений материаловедения. Благодаря использованию структурной инженерии уже на стадии разработки удается спрогнозировать получаемые функциональные параметры материалов, характеристики которых существенно зависят от фазового состава, структуры покрытий, степени текстурирования и напряженно-деформированного состояния. Использование ионов азота в качестве заряженных частиц позволило сформировать покрытия из нитридов, рабочие характеристики которых значительно превышали аналогичные свойства металлов. Покрытия CrN являются одним из широко используемых в качестве защитных в таких областях, как автомобильная, аэрокосмическая промышленность, для штампов и форм, механических компонентов и искусственных соединений для увеличения срока их службы благодаря их высокой стойкости к окислению, коррозионной стойкости, низкому коэффициенту трения и высокой износостойкости. Свойства покрытий Cr-N зависят определенным образом от их структуры и, следовательно, от способа их получения.

Покрытия осаждались в модернизированной вакуумно-дуговой установке «Булат - 6». Фазово-структурный анализ проводился методом рентгеновской дифрактометрии в излучении Cu-K α .

Для установления закономерностей структурной инженерии вакуумно-дуговых покрытий на основе хрома и его нитридов изучено влияние основных физико-технологических факторов (давление азотной атмосферы и потенциал смещения) при формировании покрытий. Установлено, что при осаждении покрытий хрома происходит формирование оси текстуры [100], а также макродеформации сжатия. Подача высоковольтного отрицательного импульсного потенциала на подложку повышает подвижность осаждаемых атомов и приводит к релаксации деформации сжатия. С увеличением давления от $2 \cdot 10^{-5}$ Торр до $4,8 \cdot 10^{-3}$ Торр фазовый состав покрытий изменяется: Cr (JCPDS 06-0694) \rightarrow Cr₂N (JCPDS 35-0803) \rightarrow CrN (JCPDS 11-0065). Подача высоковольтных импульсов приводит к формированию текстуры кристаллитов с параллельными поверхности роста плоскостями имеющими $d \approx 0,14$ нм. Полученная при импульсном высоковольтном воздействии структура позволяет повысить твердость покрытия до 32 ГПа и понизить коэффициент трения до 0,32 в системе «нитрид хрома – сталь» и до 0,11 в системе «нитрид хрома – алмаз».

Полученные результаты объяснены с позиции повышения подвижности атомов и образования каскадов смещений при использовании в процессе осаждения покрытий на основе хрома дополнительного высоковольтного потенциала в импульсной форме.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА БИНАНОСЛОЙНЫХ МНОГОПЕРИОДНЫХ КОМПОЗИТОВ (TiAlSi)N/MeN (Me – Zr, Nb, Cr, Mo)

Постельник А.А., Соболев О.В., Любченко И.В.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Снижение износа и коррозии, а также повышение термической стабильности инструментов и механических компонентов представляют собой промышленные проблемы, которые требуют непрерывной разработки новых покрытий и концепций дизайна покрытий. В последнее время большое внимание уделяется исследованию и применению многослойных и наноккомпозитных покрытий.

Особенно высокие функциональные свойства были получены для систем на основе нитридов. Однако в большинстве случаев при дизайне многопериодных покрытий используются мононитриды на основе одного из d-переходных металлов (Cr, Ti, Mo, Zr). В тоже время наиболее высокие свойства в однослойных покрытиях достигаются для многоэлементного состояния. Поэтому в работе были созданы многопериодные покрытия, где в качестве одного из слоев выступает многоэлементная система.

Покрытия были получены методом вакуумно-дугового осаждения на модернизированной установке «Булат-6». Давление атмосферы азота при осаждении (PN) составляло $2,3 \cdot 10^{-1}$ Па. Осаждение проводили из одного (TiAlSi) или двух (TiAlSi и (Mo или Cr или Nb или Zr)) источников ионов с непрерывным вращением образцов, установленных на подложках (со скоростью 8 об/мин). Это позволило получить слои толщиной (d) около 6 ... 8 нм с периодом (Λ) около 15 нм и общей толщиной покрытия (h) около 9 мкм. Общее время осаждения покрытия составляло 1 час. В процессе осаждения на подложки подавался постоянный отрицательный потенциал - $U_b = -110$ или -200 В. Нанесение покрытия проводили на образцах размером $20 \times 20 \times 2$ мм на аустенитную сталь 12Cr18Ni10Ti (аналог нержавеющей стали SS 321).

Предложено использовать многопериодные бинанослойные композиты систем (TiAlSi)N/MeN (Me – Zr, Nb, Cr, Mo) для управления структурой, напряженным состоянием и механическими свойствами многоэлементного нитрида (TiAlSi)N. Установлено, что в бинанослойном композите мононитриды с большой энергией связи Me–N задают преимущественную ориентацию роста кристаллитов в тонких (нанометровых) слоях. При $U_b = -110$ В текстура роста формируется в композитах, содержащих мононитриды на основе переходных металлов с относительно небольшой атомной массой (Cr, Mo). В случае мононитрида на основе тяжелого металла (Zr) текстура образуется при большем $U_b = -200$ В. Наибольшая твердость достигается в текстурированных материалах, осажденных при $U_b = -200$ В. Это характерно как для монослойного многоэлементного нитрида (TiAlSi)N (достигнута твердость 42,5 ГПа), так и для многопериодных нанослойных композитов на его основе (наибольшая твердость 47,9 ГПа получена для композита (TiAlSi)N/ZrN).

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА СТРУКТУРУ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БУДІВЕЛЬНОЇ СТАЛІ

Протасенко Т.О.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

До недоліків звичайної вуглецевої сталі відносяться низькі значення ударної в'язкості при знижених температурах і підвищена чутливість до наклепу і старіння, що не забезпечує безпеку споруд у процесі роботи, особливо при динамічних навантаженнях і низьких температурах.

У зв'язку з цим багато важливих сталевих конструкцій отримали раціональне конструктивне оформлення тільки при використанні низьколегованої сталі підвищеної міцності, які знайшли широке використання у будівництві мостів, вагонів, судів, у важких конструкціях промислових цехів.

З будівельної сталі 09Г2С виготовляють решітки, підкранові балки, колони, промислові етажерки, каркаси великих котлів, резервуари великих об'ємів, високі силові конструкції, транспортні галереї, мости для автотранспорту, тротуарні конструкції різної складності.

У даний час поширене використання термообробленого профілю і листового прокату великої товщини з низьколегованої сталі виправдовується економією металу до 50 %.

Впровадження на заводах України низьколегованої сталі з границею текучості $\sigma_t = 30 - 60 \text{ кг/мм}^2$ для виробництва парових котлів, апаратів і судів, які працюють під тиском і при температурах від -70°C до 450°C у хімічному і нафтовому машинобудуванні, у значній мірі сприяє розвитку металургії в Україні.

Метою роботи було дослідження впливу різних параметрів термічної обробки на структуру та механічні властивості будівельної сталі 09Г2С. З цією метою варіювались різні швидкості охолодження – від 0.07 до 600°C/с . Також визначався вплив температури відпуску загартованої будівельної сталі 09Г2С на структуру та твердість.

Термічно оброблені зразки піддавались механічним випробуванням на згин, вимірюванням твердості та металографічним дослідженням:

1. Встановлено, що загартування у воді значно підвищує твердість та границю пропорційності сталі 09Г2С.

2. Нормалізація забезпечує майже однакові значення механічних властивостей сталі у порівнянні з відпалом. Тому повний відпал цієї сталі можна замінити більш економічним режимом нормалізації.

3. З підвищенням температури відпуск твердість та границя пропорційності зменшуються, але навіть після поліпшення їх значення залишаються вищими, ніж після відпалу.

МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ ОКСИДНИХ СПОЛУК ДЛЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ СЦИНТИЛЯТОРІВ

Радионова В.О.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
Інститут сцинтиляційних матеріалів НАН України,
м. Харків*

Сцинтилятори - це матеріали, які можуть випромінювати світло при поглинанні іонізуючого випромінювання, такого як, наприклад, гамма-кванти. Одним з найбільш ефективних сцинтиляторів є неорганічні монокристали. Нещодавно було встановлено, що монокристал $\text{Gd}_3\text{Al}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}:\text{Ce}$ (GAGG: Ce) показало високий світловий вихід - 56000 фотонів / MeV і енергетичне розділення 5% при збудженні гамма квантами с енергією 662 кэВ від джерела Cs137 при кімнатній температурі [1]. Існують великі складності при отриманні кристалів GAGG: Ce, пов'язані з їх розтріскуванням під час вирощування та остигання. Однак, для створення сцинтиляційних детекторів на основі GAGG:Ce не обов'язково використовувати якісну монокристалічну булью. Можна використовувати крихту або порошок сцинтиляційного матеріалу, залитий якоюсь полімерною основою, тобто створювати композиційний сцинтилятор. Це може значно знизити собівартість детектора, а також отримувати детектори необмеженої площі та різних форм.

В роботі визначені оптимальні умови синтезу GAGG:Ce методом твердофазного синтезу. Вперше створений композиційний сцинтилятор на основі GAGG:Ce та визначена можлива галузь застосування композиційного сцинтилятора на основі GAGG:Ce така, як цифрова радіографія.

Література:

1. Cz grown 2-in. size Ce:Gd₃(Al,Ga)₅O₁₂ single crystal; relationship between Al, Ga site occupancy and scintillation properties. Kei Kamada et al. Optical Materials, Volume 36, Issue 12, October 2014, Pages 1942-1945.

ВИБІР ТЕХНОЛОГІЇ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ СТАЛІ 16ХЗНВФМБ-Ш ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКІСНОЇ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ РІЗАННЯМ

Реброва О.М.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

В роботі запропонована технологія термічної обробки сталі 16ХЗНВФМБ-Ш, яка забезпечує подальшу якісну обробку різанням. Для забезпечення можливості обробки різанням необхідна невелика твердість на рівні 22-26 HRC і відповідна структура сталі.

При термічній обробці сталі по режиму: нагрів до температур 910-930°C з наступним охолодженням в маслі забезпечується отримання бейнітної структури з виділенням зернистих карбідів з твердістю близько 40 HRC. Після проведення відпуску при температурі 680°C протягом 3 годин твердість знижується до 22-26 HRC, при цьому структура зберігає бейнітний характер.

Однак практика показує, що, незважаючи на низьку твердість, обробка різанням протікає незадовільно. У зв'язку з цим для вивчення кінетики зміни твердості зразки сталі піддавалися обробці по режимах: нагрів 920°C з витримкою 0,5 години з наступним загартуванням в маслі і відпуском при температурах: 400, 450, 500, 550, 600, 650, 680, 700, 750°C протягом 3-х годин. Проведені дослідження показали, що необхідна твердість сталі 16ХЗНВФМБ-Ш забезпечується після нагрівання до 920°C і охолодження в маслі з наступним відпуском в інтервалі температур 650-700°C. Однак при цьому у всіх випадках зберігається бейнітна спрямованість структури з виділеннями зерен карбідів.

Задовільну обробку різанням забезпечують структури, які отримують при ізотермічному розпаді аустеніту в перлітній області і структур, одержуваних після відпуску мартенситу поблизу субкритичних температур. Оскільки досліджувана сталь відноситься до бейнітного класу, при охолодженні в маслі і на повітрі вона набуває бейнітну структуру з твердістю до 40 HRC. Загартування в маслі з подальшим відпуском при 700-750°C хоча і не відрізняється за твердістю від загартування у воді, проте призводить до формування структури з спрямованістю бейніту. Однак при різанні така структура ускладнює обробку.

Охолодження у воді призводить до утворення структури мартенсит з твердістю до 45 HRC. Відпуск при температурі 750°C протягом 1 години формує структуру сорбіт відпуску з твердістю 18 HRC, а відпуск при температурі 600-650°C забезпечує твердість 20-28 HRC. Такий режим забезпечує отримання структури з необхідною для обробки різанням твердістю 22-26 HRC.

ЖАРОСТОЙКИЕ АНТИПРИГАРНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Роженко З.М.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», г. Харьков*

Для успешного развития народного хозяйства Украины необходимо увеличение производства черных металлов, в том числе низколегированных сталей, и улучшение качественных характеристик изделий из них. Однако при этом значительно возрастают потери металла в окалину. Одним из путей решения этой проблемы является применение жаростойких антикоррозионных покрытий на основе недефицитных, нетоксичных и дешёвых сырьевых материалов, в т.ч. отходов огнеупорного производства, которые формируют плотный газонепроницаемый слой в процессе службы и обеспечивают снижение окалинообразования в широком интервале температур. Особенно актуальной является защита от окисления крупногабаритных машиностроительных заготовок из указанных сталей при длительных (до 40 часов) высокотемпературных технологических нагревах, в случае которых, помимо снижения потерь от окисления и обезуглероживания, необходимо существенное облегчение процесса удаления литейного пригара с их поверхности, т.к. эта операция в современных условиях производства деталей из этих заготовок чрезвычайно трудоёмка и сопряжена с огромными энергозатратами.

Поэтому было признано необходимым и целесообразным использование для защиты указанных заготовок двухслойных жаростойких покрытий, состоящих из нижнего тугоплавкого подслоя, являющегося инертным по отношению к металлу и наносимого непосредственно на него, и верхнего (покровного) стеклокерамического слоя, температура начала размягчения которого должна быть гораздо ниже, чем подслоя. При нагреве такого двухслойного покрытия верхний его слой начинает размягчаться уже при 700 °С, образуя на нижнем огнеупорном подслое тонкую равномерную стекловидную плёнку, обладающую минимальной пористостью. Таким образом, при достижении максимальной температуры нагрева (1150 °С) и к началу многочасовой изотермической выдержки заготовок на их поверхности формируется комбинированное двухслойное покрытие, способное стать надёжным барьером для диффузии к поверхности металла окисляющих агентов из агрессивной атмосферы печи. Преимуществом этих покрытий является взаимодействие их компонентов с компонентами литейного пригара с образованием монолитного слоя, который отслаивался вместе с остатками пригара от поверхности заготовок при их остывании.

Применение указанных покрытий позволяет уменьшить в 2,5-3 раза толщину оксидного слоя, значительно облегчить процесс зачистки поверхности крупногабаритных машиностроительных заготовок, улучшить качественные характеристики деталей из них и сократить энергозатраты.

О ФОРМИРОВАНИИ ШВА ПРИ СВАРКЕ НА ВЕСУ

Ситников Б.В., Гамаюнов А.Г.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

В общем объёме работ по производству сварных металлоконструкций сварка на весу занимает значительную часть и ответственное место. В ряде случаев применение сварки на весу существенно упрощает процесс. Однако, при этом, возрастает опасность протекания жидкого металла, образования прожогов и чрезмерного повисания металла в корне шва. Помимо нарушения герметичности и ухудшения прочностных характеристик изделий, наличие указанных дефектов снижает коррозионную стойкость сварных соединений и может приводить к коррозионному растрескиванию в месте перехода от основного металла к проплаву.

Для удержания сварочной ванны и управлением процесса формирования шва представляет интерес использование магнитных полей. Поскольку непосредственного контакта устройств для магнитного удержания металла со свариваемыми заготовками нет, этот метод нечувствителен к наличию превышения кромок, кривизне заготовок и другим факторам, затрудняющим применение иных способов формирования шва.

Однако применение магнитных полей требует сложных и громоздких устройств, что затрудняет маневренность сварочного инструмента и ограничивает возможность способа в целом. В работе рассматривается возможность упрощения конструкции устройства для электромагнитного удержания сварочной ванны и улучшения качества формирования швов при сварке на весу вольфрамовым электродом в аргоне.

Это достигается тем, что в предлагаемом способе сварки, при котором сварочную ванну удерживают электромагнитными силами, возникающими в результате взаимодействия сварочного тока, протекающего через жидкий металл сварочной ванны, с магнитным полем, магнитное поле генерируют, пропуская часть сварочного тока по стержню, который размещают над хвостовой частью сварочной ванны, в плоскости свариваемого стыка, перпендикулярно электроду, при этом ток по стержню пропускают в направлении тока, протекающего в сварочной ванне.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТОЧЕЧНОЙ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ СТАЛИ 08кп С ХРОМОВЫМ ПОКРЫТИЕМ

Ситников Б.В., Обдымко И.Ю.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Стали с защитным хромовым покрытием находят всё более широкое применение взамен нержавеющей сталей главным образом в автомобилестроении, химической и пищевой промышленности. Однако при сварке таких сталей отмечается повышенная склонность к непроварам, что резко снижает прочность соединения.

В работе показано, что хромовый защитный слой, обладающий значительным электрическим сопротивлением, резко повышает контактное и общее сопротивление свариваемых деталей, которое влияет на тепловыделение в зоне сварки и, следовательно, качество соединений. Найдена зависимость контактного и общего сопротивлений от параметров режима сварки. Отмечено изменение энергетических параметров режима сварки при изменении содержания хрома в покрытии.

Установлено, что при сварке хромированной стали толщиной 0,7 мм необходимо увеличивать длительность протекания сварочного тока приблизительно на 25% и снижать расход энергии примерно на 8% при увеличении усилия сжатия электродов на 20 - 40% по сравнению со сваркой стали той же толщины, но без покрытия. Даны рекомендации по точечной контактной сварке стали 08кп с хромовым покрытием. Приведены свойства сварных соединений.

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ ВУЗЛІВ КОРПУСНИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ СТАЛІ 10ГН2МФА

Ситников П. А., Карпенко Д. В., Артемова С. В., Єфіменко М. Г.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Для виготовлення зварних вузлів корпусних конструкцій атомних електростанцій застосовують листовий прокат товщиною 25 – 250 мм із високоміцної легованої теплостійкої сталі 10ГН2МФА, яка експлуатується при температурі до + 350°C. Зварювання заготовок (конструкційних елементів) перед штамповкою виконують автоматичним або електрошлаковим способами. В деяких випадків виникає необхідність ремонту (виправлення дефектів) зварних швів перед проведенням операції гарячого штампування. Ремонт дефектних ділянок виконується по обхідній технології: вибірка дефектних місць, зварювання низько вуглецевим електродом УОНІІ-13/55, штампування і повна термічна обробка (гартування та відпуск). Після проведення зазначених операцій технологічні шви, виконані електродом УОНІІ- 13/55, видаляються і повторно заварюються з подальшим відпуском для зняття залишкових напружень. Для повторного заварювання рекомендовано використання електродів типу ПТ-30, хімічний склад наплавленого металу яких, % - (мас): С-0,1; Si-0,3; Mn-1,0; Ni-1,6; Mo-0,6; S-0,02; P-0,025. Механічні властивості наплавленого металу (тем. випробувань + 20 °C): $\sigma_b = 539$ МПа; $\sigma_{0,2} = 340$ МПа; $\delta = 16$ %; KCV = 50 Дж/см².

Мета роботи - виключення обхідної технології, що дозволить заварку дефектів виконувати одноразово без видалення швів після штампування; забезпечення композиції металу шва з необхідним рівнем механічних властивостей відповідно до нормативно-технічної документації.

Для вирішення вказаної проблеми необхідно було удосконалити композицію металу шва. Задача вирішувалась шляхом введення до складу покриття електродів компонентів, що забезпечують потрібний рівень механічних властивостей. За прототип при дослідженнях був прийнятий склад електродного покриття електрода ПТ-30 в який додатково вводилась лігатура рідкісноземельних металів (РЗМ) марки С30РЗЕ10 у кількості 3 – 7 %. Це дозволило збільшити в складі металу шва вміст кремнію і марганцю та модифікувати структуру, що привело до підвищення механічних характеристик. Механічні властивості металу шва, виконанні експериментальним електродом: $\sigma_b = 670$ МПа; $\sigma_{0,2} = 502$ МПа; $\delta = 20$ %; KCV = 140 Дж/см². Досліджувалися зварні з'єднання з використанням експериментальних електродів, які виготовлялися без обхідної технології. Отримані результати перевірок засвідчили можливість застосування наведеного електродного складу для зварювання сталі 10ГН2МФА, що дозволяє виключити обхідну технологію. Зварні з'єднання на сталі 10ГН2МФА товщиною 25 мм, заварені дослідними електродами, пройшли широку лабораторну перевірку і рекомендовані для промислового впровадження.

ПІДВИЩЕННЯ АНТИФРИКЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ МЕТОДОМ МІКРОДУГОВОГО ОКСИДУВАННЯ (МДО)

Соболь О.В., Білозеров В.В., Махатілова Г.І., Субботіна В.В.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Широке використання титанових сплавів в промисловості пояснюється поєднанням в них таких властивостей, як невисока щільність, висока питома міцність і корозійна стійкість.

До недоліків титанових сплавів слід віднести важко оброблюваність різанням, невисокі антифрикційні властивості, схильність до контактного схоплювання при терті. Так коефіцієнт сухого тертя для пари титан – титан становить 0,5–0,7. Використання мастил не усуває схильність титану і його сплавів до задирів, що обумовлюється не схильністю поверхні титану адсорбовувати та утримувати мастило.

Перспективними методами підвищення трибологічних властивостей титанових деталей є нанесення антифрикційних покриттів на поверхні тертя. До яких відносяться покриття, сформовані методом мікродугового оксидування (МДО).

Метою даної роботи є підвищення антифрикційних властивостей титанового сплаву ВТ3-1 методом МДО.

Обробка проводилась в лужному електроліті з додаванням алюмінату натрію (NaAlO_2), гексаметофосфату натрію (NaPO_3)₆ та технічного рідкого скла (Na_2SiO_3). Варіювався склад електроліту та режими електролізу (щільність струму і тривалість обробки).

Досліджена кінетика формування покриття, твердість, фазовий склад і коефіцієнт тертя.

Оптимізовані умови електролізу, які забезпечують максимальну твердість, і низький коефіцієнт тертя. Встановлено, що антифрикційні властивості визначаються фазовим складом покриття. Так в електроліті складом 1,75 г/л КОН, 2 г/л NaAlO_2 і 1 г/л Na_2SiO_3 твердість сформованого покриття становить 12 500 МПа, а коефіцієнт тертя – 0,006 в парі з сірим чавуном. Ці властивості забезпечуються тільки в тому випадку коли в складі МДО-покриття присутні фази рутил (TiO_2), титанат алюмінію (Al_2TiO_5) і муліт ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$). Показано що, що муліт є фазою, яка відповідає за високу твердість покриття.

Таким чином, МДО-обробка є ефективним засобом підвищення антифрикційних властивостей титанових сплавів.

ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК С МАССИВНЫМИ УЗЛАМИ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

Шамрай А.И., Мариненко Д.В., Костик Е.А., Чибичик О.А.

***Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», г. Харьков***

Литье является заготовительным этапом производства, и большинство получаемых отливок подвергаются механической обработке. Для изготовления элементов крепления или усиления конструкций, на стенки отливок добавляются массивные узлы, которые в последствии обрабатываются. Поэтому разработка и оптимизация способа получения качественных отливок с массивными узлами является актуальной задачей литейного производства.

Целью работы является оптимизация расчета конструкции прибылей и холодильников для получения качественных отливок.

Проанализировав основные виды брака в массивных узлах и на границе с ними, был выявлены основные факторы, влияющие на их появление. Самым распространенным и универсальным способом решения большинства проблем оказалось примените холодильников и прибылей, а также их комбинация.

В работе рассмотрены основные типы прибылей и места их подвода, определено их среднее КПД, описаны индивидуальные случаи и рекомендации применения каждого типа, представлены варианты расчета прибылей.

Для проверки правильности выбранного типа прибыли, размеров, формы и место установки, было выполнено компьютерное моделирование заливки и кристаллизации отливки с помощью программного пакета LVMFlow. По результатам моделирования были проанализированы температурные поля при использовании разных прибылей.

Также предложены дополнительные способы влияния на качество заполнения и условия кристаллизации массивных узлов: положение их в форме; температура заливки; применении противопригарных красок; формовочные смеси с разными свойствами; конструктивное увеличение радиусов по границе узла и уменьшение разностенности, если такое является возможным.

Поэтому правильное питание отливки способствует уменьшению дефектов отливки, снижению остаточных напряжений, уменьшение воздействия на форму и сохранение правильной геометрии.

Таким образом, данные полученные в ходе работы позволят оптимизировать процесс выбора технологических и конструктивных параметров создания отливки с массивными элементами из нержавеющей стали.

ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЯ ЭЛЕКТРОЭРОЗИИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ СТАЛИ В ПРОЦЕССЕ

АЛМАЗНО-ИСКРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ

Шевченко С.М.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,*

г.Харьков

Шероховатость поверхности является одним из основных критериев качества поверхности обработанных шлифованием деталей. Метод алмазно-искрового шлифования (АИШ) характеризуется интенсивным высокотемпературным локальным нагревом, значительным удельным давлением и быстрым охлаждением за счет отвода тепла в глубину изделия в среде СОЖ.

Целью исследования было в рамках макроскопического анализа поверхности образцов из углеродистых сталей 45, У7 и У12 в исходном состоянии после закалки и низкого отпуска посчитать площадь зоны эрозии, сформированной на поверхности электрическими разрядами и оценить влияние содержания углерода в исследуемых сталях на размер эрозии (лунок).

Установлено, что наличие лунок непосредственно на обработанной поверхности значительно ухудшают макрорельеф (рис. 1). Площади лунок представлены на рис. 2.

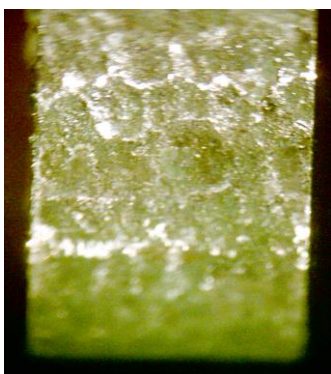


Рисунок 1. – Макроструктура поверхности стали У7 после АИШ №1

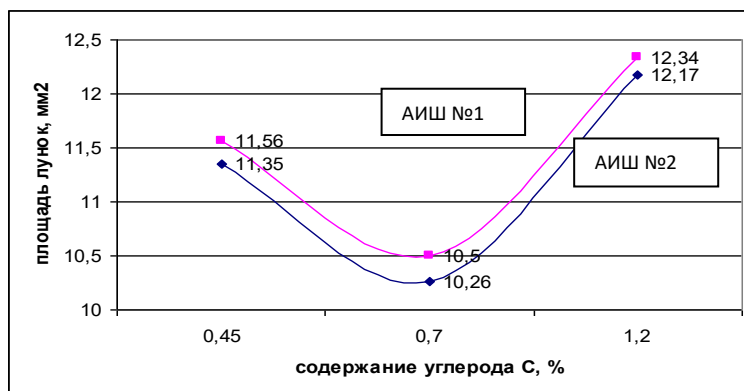


Рисунок 2. – Площадь зоны эрозии (лунок) углеродистых сталей 45, У7 и У12 после АИШ

Сталь У7 при температуре 900 °С имеет наибольшую теплопроводность ($\lambda = 29$ [Вт/(М·°С)]) из исследуемых углеродистых сталей и наименьшую величину электроэрозии. Наибольшая электроэрозия стали У12 объясняется наименьшим коэффициентом теплопроводности и наличием карбидов цементита в структуре данной стали, которые ухудшают теплоотвод. При шлифовании без тока, лунки не образуются.

Расчет площади лунок, показал, что размер электроэрозии зависит:

1) от технологических параметров обработки (особенно от глубины шлифования); 2) от содержания в стали углерода, который изменяет теплопроводность стали.

РАЗЛИЧНЫЕ СПОСОБЫ ВВОДА ДОБАВОК В ХТС С ЖИДКИМ СТЕКЛОМ

Юрченко В.В., Пономаренко О.И., Берлизова Т.В.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Использование в качестве связующего жидкого стекла (ЖС) для изготовления формовочных и стержневых смесей позволяет получать более прочные формы, снизить металлоемкость отливок за счет получения более тонкостенных изделий и повысить качество отливок.

Однако основным недостатком технологий на ЖС является плохая выбиваемость стержней из отливок и отливок из форм. Для улучшения выбиваемости применяют различные модификаторы жидкого стекла или ввод разупрочняющих добавок в смесь. В настоящее время предложено большое разнообразие добавок, которые снижают остаточную прочность и тем самым улучшают выбиваемость форм и стержней.

Добавки по месту ввода в смесь можно разделить на органические и неорганические. К неорганическим добавкам относятся: глина, гидрат оксида алюминия, бентонит, доменный шлак, феррохромовый шлак, фосфорит, пылевидные отходы асбеста, вермикулит, СК-3, СК-3В2, СК-3 В10, СК-3к и СК-3б и др.

В качестве органических добавок используют древесный уголь, канифольное мыло, мазут, каменноугольный пек, сахар, подсолнечную лузгу, глицерин, глюкозу, этилен- и диэтиленгликоль, винилхлорид, нитраты, фосфаты, черный и серебристый графит, нефтяной и каменноугольный кокс, асбест, природные смолы, пульвербакелит, нефтяные масла, радол-паста, раствор из отходов пенополистирола в живичном скипидаре (ОПП) и др.

Добавки, которые вводят в жидкое стекло, с целью улучшения его свойств называют модификаторами, а связующее со специальными добавками – модифицированным или активированным. К модификаторам ЖС относятся добавки неорганической или органической природы, способные растворяться в нем с образованием растворов, стабильно сохраняющих свое агрегатное состояние при нормальных условиях в течение технологически необходимого времени.

Добавки в смесь или жидкое стекло имеет ряд недостатков, поэтому при приготовлении смесей необходимо придерживаться следующих правил:

1) При вводе модификатора в жидкое стекло необходимо следить, чтобы улучшились связующие способности жидкого стекла;

2) Необходимо тщательное перемешивание смеси, чтобы добавки равномерно были распределены в формовочной смеси и хорошо обволакивали песчинки смеси.

Для определения наиболее эффективного способа получения качественных смесей в работе предложено использовать несколько составов смесей. Триацетин с фурфуриловым спиртом (в соотношении 1:1) в качестве эфирного отвердителя добавляли в смеси с обычным и модифицированным гексаметафосфатом натрия жидким стеклом.

ПОЛУЧЕНИЕ РАЗНОСТЕННЫХ СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК

Юсубов И.С., Мариненко Д.В., Костик Е.А., Чибичик О.А.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

С усовершенствованием возможностей компьютерного проектирования, сложность корпусных элементов непрерывно возрастает. Поскольку углы в отливке всегда представляют собой потенциальное место для трещины или остаточных напряжений, то разностенность в корпусных отливках только усложняет процесс получение целостного корпуса, а так как в некоторых случаях сварка попросту не допустима, получение корпуса в литье есть единственный возможный способ. Поэтому исследования процесса подвода металла в форму является актуальной задачей для литейного производства.

Целью работы является рассмотрение всех возможных вариантов запитки корпусной отливки и выбор из них наиболее оптимального и экономичного.

Для этого в работе рассмотрены процессы протекающий в форме, такие как: траектория и скорость заполнения формы; распределение температурных полей; выявление горячих точек. Также проведена оценка и внешних начальных факторов: температура заливки и формы; материал формы.

В ходе работы были рассмотрены вспомогательные методы создания правильного заполнения и кристаллизации отливки, например – добавление к конструкции самого корпуса конструктивных перемычек между сторонами или диагоналями, которые позволяют удерживать стенки отливки от прогиба при кристаллизации, а после выбивки они удаляются с поверхности. В массивных узлах можно применять холодильники, чтобы создать направленную кристаллизацию и обеспечить равномерную скорость и время охлаждения тонкой и толстой стенки, что в свою очередь уменьшит напряжения в отливке и снизит вероятность образования холодных и горячих трещин, а также коробления.

Чтобы оценить эффективность и правильность выбранных способов питания и рассчитанных параметров литниковой системы, было проведено моделирование процесса литья и кристаллизации отливки при помощи программного пакета LVMFlow.

Таким образом, в ходе работы были определены самые значимые конструктивные и технологические параметры, которые позволяют получить качественную корпусную отливку. Также описаны случаи применения дополнительных технологических моментов, с помощью которых можно повысить качество получаемой отливки, если того требуют предъявляемые технические требования.

ПРИРОДА ПОХОДЖЕННЯ І РОЗПОДІЛ ТРІЩИН У ШАРУВАТИХ КОМПОЗИТАХ МІДЬ–ТАНТАЛ

Ящеришин Є.В., Терлецький О.С.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

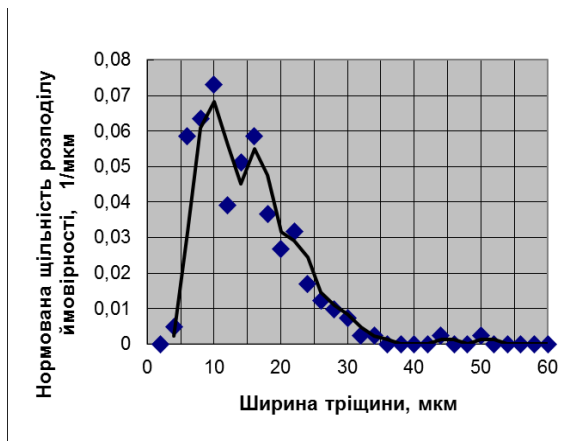


Рисунок 1. Нормована гістограма розподілу ширини тріщин композиту з 1% Та

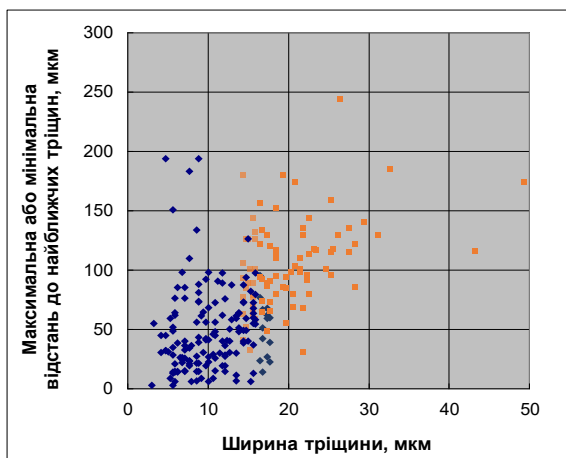


Рисунок 2. Зіставлення розмірів тріщин та інтервалів між ними.

Шаруваті композити Cu+1% об. Та виготовляли методом дифузійного зварювання, що забезпечували прошарки фольги Ni між складовими та параметри: температура – 1000 °C; тривалість – 1 год.; тиск – ≈ 40 МПа; вакуум – $\approx 1,3 \cdot 10^{-2}$ Па. Досліджували мікросліпи поздовжніх перерізів зразків композитів після їх руйнування в іспитах на розтягування при 20 °C. Було встановлено, що поза шийкою малопластичні шари танталу мають поперечні тріщини, що накопичуються при деформуванні та призводять до в'язкого руйнування композиту.

Тріщини відрізняються за шириною та взаємним інтервалом. Звичайна схема механізму їх зародження та розвитку передбачає наступне. По досягненню границі міцності прошарків Та, в останньому формуються перші тріщини. При подальшій деформації вони зростають, а в інтервалі поміж ними з'являються нові. В цьому випадку повинен спостерігатися мономодальний розподіл ширини тріщин, який ілюструє час їх виникнення. Крім того, статистичний розкид інтервалів між тріщинами не повинен бути пов'язаним з їх шириною, тобто – моментом їх виникнення.

Але на експериментальній нормованій гістограмі ширини тріщин (рис. 1) в наявності бімодальний розподіл, два максимуми (відносна щільність на інтервалі нормували на його

ширину 2 мкм). З причини бімодальності було зроблено припущення, що крім вищевказаного механізму зростання тріщин діє додатковий. Таким, найбільш ймовірно, може бути вплив локальних часток міжфазних поверхонь вздовж зразку з недостатнім адгезійним зв'язком. В таких місцях перші тріщини повинні зростати до великих розмірів без формування поряд нових і тому мати значні інтервали з сусідніми. Виділення широких (> 16 мкм) тріщин та максимального інтервалу поруч з ними, аналогічно – для малих тріщин з мінімальним інтервалом поруч (рис. 2), свідчить на користь додаткового механізму, що пропонується.

СЕКЦИЯ 7. КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

ИНТЕНСИВНОСТЬ ИЗЛУЧЕНИЯ He-Ne ЛАЗЕРА ИЗМЕНЯЕТ РАДИАЦИОННУЮ СТОЙКОСТЬ КУЛЬТУРЫ БИОЛОГИЧЕСКИХ КЛЕТОК

Алмазова Е.Б.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», г. Харьков*

Рассмотрены публикации, посвященные повышению радиационной устойчивости клеточных культур путем их облучения лазером. Сообщения делятся на 2 группы: в 1-ой продемонстрировано радиопротекторное действие лазерного луча; во 2-ой - излучение лазера понижает радиационную устойчивость живых клеток. Показано, что противоположные результаты реализуются, в зависимости от того, используются ли интенсивности лазера, меньше «дотепловой» величины - 30 мВт/см^2 , или наоборот.

Функционирование биологической клетки - это обмен веществ между клеткой и межклеточной жидкостью по диффузионному механизму: скорость переноса определяется временем прохождения через плазматическую мембрану и примембранный неперемешиваемый водяной слой, во много раз превышающий толщину мембраны. В жидкости (в воде) всегда присутствует растворенный воздух и воздух в пузырьках. (При 20°C объемная доля «пузырькового» воздуха составляет $V_F = 5,8 \cdot 10^{-8}$; средний радиус пузырьков $R_{cp} = 20 \text{ нм}$). Пузырьки присутствуют и в примембранном слое, перемещаясь в поле тяжести со скоростью пропорциональной R^2 (сила Архимеда), выполняя роль «наноперемешивателей». При облучении жидкого диэлектрика (биологической жидкости) ЭМ волнами ЭМ энергия преобразуется в тепловую. Температура объекта увеличивается. При малых интенсивностях $t^\circ\text{C}$ повышается не более, чем на $0,1^\circ\text{C}$. Растворимость воздуха в жидкости уменьшается, пузырьки увеличиваются в размерах. Выросшие пузырьки перемешивают примембранный слой, уменьшая его толщину и увеличивая проницаемость системы «мембрана плюс примембранный неперемешиваемый слой».

Скорость биохимических процессов в клетке определяется уровнем ферментативной активности, зависящей от концентрации в среде низкомолекулярных органических веществ. Увеличение проницаемости системы «мембрана плюс примембранный неперемешиваемый слой» (вызванное фактом низкоинтенсивного - интенсивность не превышает 30 мВт/см^2 , т.н. «дотеплового», $t^\circ\text{C}$ не выше $0,1^\circ\text{C}$ - излучения лазера) влечет за собой выход из клетки части органических субстратов, снижение их внутриклеточной концентрации. Ферментативная активность ускоряет процессы, включая стимуляцию пролиферации. Радиационные повреждения, возникшие после воздействия ионизирующей радиации будут успешнее заживаться, чем в случае отсутствия лазерного излучения.

Интенсивность лазерного излучения выше «дотеплового», увеличивает проницаемость не только плазматической мембраны, но и внутриклеточных мембран, ограничивающих компартменты клетки. Это приводит к диффузионному расплыванию клеточных субстратов по объему клетки. Клетка функционирует в режиме, отличающемся от нормального, ее ресурсы быстро истощаются. Последующее воздействие ионизирующего излучения активизирует процессы разрушения и гибели клетки.

ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОРЕЗИСТОРОВ

Андреев А.Н., Андреева О.Н., Лазаренко А.Г.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

В процессе освоения нового материала будущими специалистами существенную роль играют практические навыки, развиваемые при выполнении лабораторных работ. В курсе общей физике в разделе «Физика конденсированного состояния» изучаются свойства и характеристики полупроводников, а также устройств на их основе. Современные лабораторные дают студентам как знания по изучаемому курсу, так и навыки использования микропроцессорных средств автоматизации эксперимента.

Для определения температурной зависимости сопротивления терморезисторов и постоянной времени была разработана лабораторная установка, основная на микроконтроллере (МК) Atmega 328. Для изменения температуры терморезистора используется элемент Пельтье (TEC1-12706), закрепленный на алюминиевом радиаторе с принудительным воздушным охлаждением. На элементе Пельтье фиксируется исследуемый терморезистор и цифровой термометр (DS18B20), измеряющий температуру терморезистора, и передающий её на МК. Один вывод терморезистора подключен к общему проводу, а второй – к напряжению питания (+5 В). Напряжение с терморезистора поступает на аналоговый вход МК и используется для расчета его сопротивления. Управление элементом Пельтье осуществлялось с помощью полевого транзистора IRFZ44N на затвор, которого подается сигнал с цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) MCP 4725 и двух релейных модулей, регулирующих полярность включения (нагрев или охлаждение). Напряжение на выходе ЦАП и переключение релейных модулей задается МК. Численные значения температуры и сопротивления терморезистора выводятся на жидкокристаллический экран (LCD1602). Управление установкой происходит с помощью инкрементального энкодера. Длительным нажатием на энкодер запускается автоматический режим измерений сопротивления терморезистора во всем диапазоне температур. При достижении максимальной температуры, элемент Пельтье выключается и выполняется измерение временной зависимости сопротивления терморезистора для определения постоянной времени. В автоматическом режиме все данные записываются на карту памяти. Так же к МК подключён Bluetooth модуль, позволяющий установить сопряжение со смартфоном, что позволяет более гибко и дистанционно управлять установкой с помощью разработанного приложения для смартфона.

Таким образом, разработанная лабораторная установка позволяет: исследовать температурную зависимость сопротивления терморезистора; определять температурный коэффициент сопротивления и постоянную времени терморезистора; выполнять градуировку терморезистора в соответствии с уравнением Стейнхарта – Харта.

РОСТ КРИСТАЛЛОВ ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ АМОРФНЫХ ПЛЕНОК HfO_2

Багмут А.Г., Багмут И.А., Николайчук Г.П., Резник Н.А.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Пленки диоксида гафния (HfO_2) в аморфном состоянии получены лазерным распылением Hf в атмосфере кислорода. Их кристаллизацию осуществляли воздействием электронного луча в колонне электронного микроскопа Рис. 1. Образование и рост кристаллов HfO_2 исследован “in situ”. Кинетические кривые превращения построены на основе покадрового анализа видеофильма процесса кристаллизации пленки [1]. По структурно-морфологическим признакам фазовое превращение соответствует дендритной полиморфной кристаллизации и может носить как одностадийный, так и двухстадийный характер. В последнем случае имеет место размерно-фазовый эффект, состоящий в том, что когда размер кристалла орторомбической модификации HfO_2 превышает критическую величину (~ 0.2 мкм), то он расщепляется на домены, которые имеют как орторомбическую, так и моноклинную кристаллическую решетку. Определены кинетические параметры кристаллизации и показано, что имеет место квадратичная зависимость доли кристаллической фазы от времени. Среднее значение относительной длины при дендритной полиморфной кристаллизации составляет ~ 3075 . Фазовое превращение из аморфного в кристаллическое состояние сопровождается увеличением относительной плотности вещества пленки на $\sim 2.5\%$. После полной кристаллизации пленка состоит преимущественно из дендритов моноклинной модификации HfO_2 .

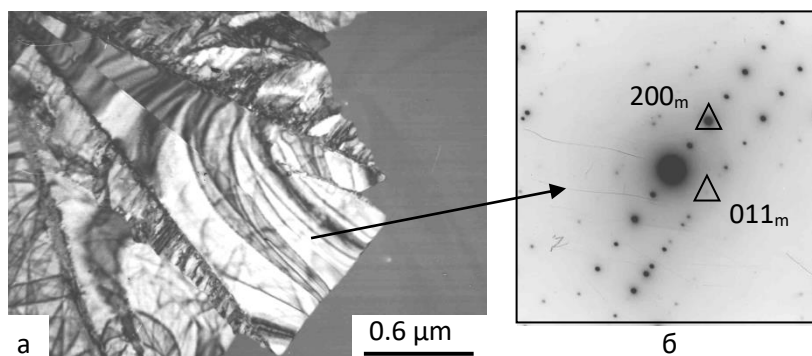


Рис. 1. Рост кристаллов HfO_2 в аморфных пленках под воздействием электронного облучения: электронно-микроскопические изображения (а) и картина микро-дифракции (б).
Контраст на картине микро-дифракции инвертирован.

Литература:

1. A.G. Bagmut, Technical Physics Letters, 2012, vol. 38, 488-491.

ФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ КАК ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Белозерцева В.И., Дьяконенко Н.Л., Овчаренко А.П..

Национальный технический университет

«Харьковский политехнический институт»,

Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина,

г. Харьков

Фотонные кристаллы представляют собой искусственно созданные многослойные структуры, в которых диэлектрическая проницаемость и геометрические размеры изменяются с периодом, сравнимым с длиной волны распространяющегося в них электромагнитного излучения. При взаимодействии электромагнитного излучения с такими структурами в спектрах отражения и пропускания наблюдается чередование разрешенных и запрещенных для распространения электромагнитного излучения частотных диапазонов. Изменение параметров слоев дает возможность управлять свойствами фотонных кристаллов, что открывает широкие возможности для создания оптических изоляторов, фотоэлектрических преобразователей солнечного излучения и других оптоэлектронных устройств. Нарушения периодичности в фотонных кристаллах приводит к возникновению "дефектных мод", то есть волн, электромагнитное поле которых локализовано вблизи дефектного слоя. Имеющиеся на сегодняшний день результаты теоретических исследований дефектных мод в фотонных кристаллах не дают полного описания данного эффекта.

Однако поведение запрещенных и разрешенных зон (областей высокого отражения и высокого пропускания) хорошо описывается теорией многослойных интерференционных покрытий. Наблюдаемые в фотонных кристаллах разрешенные и запрещенные зоны представляют собой не что иное как интерференционные максимумы и минимумы. Интерференционные системы, состоящие из чередования пленок необходимой оптической толщины с высоким и низким показателями преломления, позволяют уменьшить отражение света в узкой или широкой области спектра (просветляющие покрытия), повысить отражение падающего света на участках различной спектральной ширины (зеркала), выделить узкую спектральную область монохроматического света (интерференционные светофильтры).

Известны различные способы расчета интерференции света в заданной многослойной системе. Вычисления значительно облегчаются благодаря разработанным программам, составленным с использованием матричных методов. Расчеты, проведенные с помощью матричного метода, позволяют получить заданные оптические характеристики (коэффициенты отражения, пропускания и т.д.) для любых многослойных покрытий.

В данной работе исследованы спектральные зависимости коэффициента отражения покрытий при значениях минимального показателя преломления и изменении угла падения света на многослойную систему в широком спектральном диапазоне.

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ПРОВЕРКИ ХОЛОДОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ГЛИКОЛЕВЫХ ОХЛАДИТЕЛЕЙ

Богдашка С.А., Руденко Н.З.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

При продвижении отечественной продукции на мировой рынок необходимо выполнить требования мировых стандартов и методик. Для проведения испытаний необходима разработка специального стенда.

Стенд предназначен для проведения испытаний как серийно выпускаемых гликолевых охладителей, так и опытных образцов.

Для стенда предусмотрено проведение следующих видов испытаний:

- Определение полезной холодопроизводительности охладителя, с учетом потерь холодопроизводительности на компенсацию теплопритоков в ванну с гликолем и от помп, перекачивающих хладоноситель к потребителю, в заданных климатических условиях.

- Определение теплопритоков к продуктопроводу или разливочной колонне в заданных климатических условиях работы оборудования и при различных температурах подаваемого хладоносителя. Определение температурного уровня и расхода хладоносителя необходимого для надлежащей работы продуктопровода или колонны.

- Испытание комплекта разливочного оборудования (охладитель, продуктопровод, разливочная колонна) при которой охладитель обеспечивает требуемые параметры транспортируемого продукта на выходе из продуктопровода. В заданных климатических условиях работы охладителя и продуктопровода.

Преимущества данного стенда:

- Возможность установки имитирующей электрическую мощность, выделяемой проточным нагревателем в автоматическом режиме;
- Предусматривается возможность проведения испытаний двух охладителей одновременно;
- Запись, отображение и архивирование всей измеренной информации, настройка измерительного оборудования с помощью одного программного продукта.

ТЕПЛОПРОВІДНІСТЬ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ТВЕРДИХ РОЗЧИНІВ PbSe-PbTe

Водоріз О.С., Тавріна Т.В., Рогачова О.І.,
*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Ізовалентні та ізоструктурні напівпровідникові тверді розчини PbSe-PbTe належать до числа перспективних термоелектричних матеріалів, які широко використовуються в термогенераторах, що працюють в інтервалі температур 600 – 900 К.

Ефективність матеріалу визначається величиною термоелектричної добротності, яка, в свою чергу, залежить від теплопровідності λ . Одним із основних методів підвищення термоелектричної добротності матеріалів є створення твердих розчинів на їх основі з метою зниження ґраткової теплопровідності та наступне легування для отримання оптимальної концентрації носіїв заряду. Раніше було проведено дослідження λ твердих розчинів PbTe-PbSe (0 – 5 мол.% PbSe) та виявлено немонотонний характер залежності теплопровідності від вмісту домішки [1]. Викликає інтерес дослідження λ у системі PbSe-PbTe з боку PbSe в залежності від складу твердих розчинів та температури.

Мета роботи – дослідження теплопровідності λ напівпровідникових твердих розчинів PbSe-PbTe (0 – 4.5 мол.% PbTe) в інтервалі температур 170 – 670 К та побудова на їх основі ізотерм λ .

Пресовані зразки було отримано методом гарячого пресування за температури 650 К і тиску 0.4 ГПа. Потім зразки піддавали гомогенізуючому відпалу за температури 720 К протягом 260 годин, із наступним охолодженням печі до кімнатної температури. Вимірювання теплопровідності λ проводили в інтервалі температур 170 – 670 К методом динамічного калориметра на стандартному вимірнику теплопровідності ИТ- λ -400 на циліндричних зразках висотою 5 мм та діаметром 15 мм. Похибка вимірювання λ складала $\pm 5\%$.

Одержано температурні залежності теплопровідності, на їх основі побудовано ізотерми λ в інтервалі концентрацій 0 – 4.5 мол.% PbTe. Показано, що теплопровідність знижується при зростанні температури. Ізотерми λ мають немонотонний характер, поблизу 1.0 та 2.0 мол.% PbTe спостерігаються максимуми теплопровідності, наявність яких пояснюється з точки зору перколяційної теорії.

Отримані результати необхідно приймати до уваги при подальшому дослідженні та оптимізації властивостей твердих розчинів PbSe-PbTe для використання в термоелектриці.

Література:

1. Rogacheva E.I. Concentration anomalies of the thermal conductivity in PbTe-PbSe semiconductor solid solution / E.I. Rogacheva, O.S. Vodorez, O.N. Nashchekina, M.S. Dresselhaus // Phys. St. Sol. B. – 2014. – V. 251, No. 6. – P. 1231-1238.

ВАРИАТИВНОСТЬ ЛЕКЦИОННОЙ ДЕМОНСТРАЦИИ «ТОКИ ФУКО»

Галушак И.В., Меньшов Ю.В.

***Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков***

Использование лекционных демонстраций при изложении теоретического материала, вне всякого сомнения, приводит к позитивному результату. Многие физические законы и явления можно наглядно представить несколькими физическими демонстрациями, то есть разносторонним образом. Зрительные образы демонстраций позволят студентам глубже понять и лучше запомнить сущность рассматриваемых вопросов.

В разделе электричество и магнетизм курса общей физики при изучении явления самоиндукции рассматриваются токи Фуко. Вихревые токи приводят к разогреву массивных образцов, к возникновению вращательных, тормозящих моментов или выталкивающих сил (проявление правила Ленца)

Варианты демонстрации вихревых токов:

- 1.** Взаимодействие массивного сплошной образец проводника и образца, сложенного из отдельных изолированных пластин с магнитным полем мощного цилиндрического магнита. Вблизи соленоида, подсоединенного к источнику переменного тока, помещают поочередно массивный сплошной образец проводника и образец, сложенный из отдельных изолированных пластин. Сплошной образец постепенно нагревается и «гудит».
- 2.** Демонстрация сердечника трансформатора и ротора электродвигателя. Оба изготовлены из отдельных пластин, чтобы исключить токи Фуко.
- 3.** Демонстрация быстрого разогрева проводника, находящегося в сильном переменном магнитном поле. Кольцевой пустотелый контур с рукояткой-держателем. В кольце имеются отверстия малого диаметра. Если кольцо заполнить водой и поместить в переменное поле соленоида, то под действием токов Фуко кольцо разогревается и вода закипает.
- 4.** Демонстрация вращательных моментов сил взаимодействия магнитных полей. Кубик, сделанный из отдельных изолированных проводящих пластинок. В центре граней сделаны крючки для подвешивания кубика между полюсами мощного электромагнита. В зависимости от взаимного положения вектора индукции магнитного поля и направления соединения пластин кубика, кубик либо поворачивается, либо висит неподвижно. То есть, либо возникновение вихревых токов и связанного с ними магнитного поля происходит, либо нет.
- 5.** Демонстрация возникновения вихревых токов с помощью двух плоских маятников, колеблющихся перпендикулярно переменному магнитному полю. В сплошном маятнике токи Фуко возникают, и он быстро останавливается, в маятнике с разрезной формой – нет, он продолжает колебаться.
- 6.** Устройство учета проходящего по цепи электричества. Сплошной диск с осью вращения, одновременно размещенный между обмотками электромагнита и постоянным магнитом. При пропускании переменного тока через электромагнит в диске индуцируются вихревые токи. Магнитное поле этих токов взаимодействует с полем постоянного магнита и диск вращается.

ВЛИЯНИЕ КИСЛОРОДА НА ОБРАЗОВАНИЕ ВОДОРОДА В ПРОЦЕССЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РЕАКТОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ВОДЯНЫМИ ПАРАМИ

Гальчинецкий Л. П., Дульфан А.Я., Фатьянова Н.Б.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

11 марта 2011 г. мир был потрясён аварией на АЭС Фукусима-1, которая по масштабам сравнима с катастрофой 1986 года на Чернобыльской АЭС.

Выход из строя различных инженерных систем защиты энергоблоков, ставший результатом землетрясения и цунами, повлёк за собой резкое повышение температуры внутри энергоблоков. Компанией ТЕПСО были начаты работы по охлаждению энергоблоков станции большим количеством морской воды. Однако эта операция привела к взаимодействию паров воды с материалами конструктивных узлов разогретых энергоблоков, в основном, с цирконием, сталью, различными сплавами и другими материалами, и выделению больших количеств водорода - одного из продуктов этого взаимодействия. Реакция водорода с кислородом воздуха вызвала многочисленные взрывы образовавшейся смеси, которые разрушили как атомные реакторы, так и защитные оболочки (гермооболочки) энергоблоков. Это сопровождалось дальнейшим повышением температуры реакторов, что ещё более ухудшило аварийную ситуацию на АЭС. Материал активной зоны расплавился, причём более поздними исследованиями было установлено, что температура внутри реакторов достигала 2800С, а само расплавление произошло, по всей вероятности, уже в первые минуты аварии. Все эти процессы сопровождались катастрофическим ухудшением радиационной обстановки как на самой станции, так и вокруг неё. Взрывы водородо-кислородной смеси продолжались. Чтобы вытеснить кислород из пространства, окружающего активную зону, и предотвратить новые взрывы и дальнейшее ухудшение ситуации, лишь через месяц после начала аварии, 7 апреля 2011 г. компанией ТЕПСО были начаты работы по подаче нейтрального азота в пространство вокруг активной зоны энергоблоков. Взрывы прекратились, появилась возможность постепенно начать ремонтные работы. Однако и по прошествии года после начала аварии периодически продолжают спонтанные выбросы радиации, связанные с наличием локальных очагов не прекращающихся физико-химических и ядерно-физических процессов, которые представляют большую опасность для окружающей среды, здоровья и жизни людей и их хозяйственной деятельности. Цель настоящей работы — проанализировать термодинамику некоторых процессов взаимодействия реакторных материалов с парами воды и показать, какую роль в этих процессах может сыграть наличие кислорода, который является основной активной компонентой воздушной среды, окружающей реактор. Результаты такого анализа могут оказаться важными для дополнительного решения хотя бы некоторых проблем ядерной безопасности на АЭС, предотвращения аварий и борьбы с последствиями аварий в области ядерной энергетики.

СТРУКТУРА ТА ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІКРИСТАЛІЧНИХ БАЗОВИХ ШАРІВ CdTe, ОДЕРЖАНИХ МАГНЕТРОННИМ РОЗПИЛЕННЯМ, ДЛЯ ГНУЧКИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Доброжан А.І., Хрипунов Г.С., Копач Г.І., Харченко М.М.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Тонкоплівкові сонячні елементи на основі гетеросистеми CdS/CdTe є перспективними для промислового виробництва та широкомасштабного наземного застосування. Одним з економічних і високотехнологічних методів отримання тонких плівок є магнетронне розпилення на постійному струмі. Але в процесі конденсації напівпровідникових плівок цим методом існують технологічні проблеми, які обумовлені низькою провідністю пресованої порошкової мішені CdTe та достатньо низькою емісійною здатністю цього матеріалу. Тому актуальним є дослідження впливу фізичних та технологічних режимів конденсації методом магнетронного розпилення на постійному струмі на структуру та оптичні властивості плівок CdTe.

Методом магнетронного розпилення на постійному струмі з попереднім нагрівом мішені вирощені тонкоплівкові базові шари CdTe на скляних підкладках. При щільності струму розряду струму 2,2-5,4 мА/см² та швидкості осадження 200 нм/хв, отримано шари CdTe з гексагональною структурою товщиною до 5 мкм. Коефіцієнт пропускання таких плівок CdTe з гексагональною структурою в діапазоні довжин хвиль видимого спектра становить до 5%, а в інфрачервоному спектральному діапазоні - близько 60%. Ширина забороненої зони CdTe у досліджених полікристалічних базових шарах різної товщини становить 1,52-1,54 еВ. Після хлоридної обробки з наступним відпалом на повітрі при T=430⁰C протягом 25 хв. в результаті фазового переходу вюрцит-сфалерит плівки CdTe містять лише стабільну кубічну фазу. Значення константи решітки a=6,4905 Å, що менш ніж на 0,2% відхиляється від табличного значення за таблицями PCPDFWIN. Такі плівки CdTe можуть бути використані в якості базових шарів сонячних елементів на основі гетеропереходів CdS/CdTe.

За встановленими оптимальними фізико-технологічними режимами конденсації методом магнетронного розпилення на постійному струмі виготовлено плівкові гетеросистеми CdS/CdTe на гнучких поліімідних підкладках. З'ясовано вихідні параметри гнучких сонячних елементів поліімід/ITO/CdS/CdTe/Cu/Ag. Показано, що попереднє охолодження шару CdS та його короткочасне перебування на повітрі до процесу конденсації шару CdTe, призводить до збільшення напруги холостого ходу і коефіцієнту заповнення навантажувальної світлової вольт-амперної характеристики та зменшення послідовного опору сонячних елементів. В результаті цього ефективність гнучких сонячних елементів поліімід/ITO/CdS/CdTe/Cu/Ag з полікристалічним базовим шаром CdTe, що виготовленні методом магнетронного розпилення на постійному струмі, збільшується зі значення 2,6% до 3,1%.

ЕЛЕКТРИЧНІ ТА ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЛІВОК NiO:Li, ВИГОТОВЛЕНИХ МЕТОДОМ SILAR

Жадан Д.О.¹, Ключко Н.П.¹, Клєпікова К.С.¹, Петрушенко С.І.²,
Копач В.Р.¹, Хрипунов Г.С.¹, Любов В.М.¹, Дукаров С.В.², Нікітін В.О.¹,
Маслак М.О.¹

Національний технічний університет

¹ *«Харківський політехнічний інститут»,*

² *Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
м. Харків*

Термоелектричні технології, що забезпечують безпосереднє перетворення тепла в електрику, виступають цікавою альтернативою для існуючих енергогенеруючих пристроїв. Особливо великі зусилля спрямовані на створення мікромасштабних термоелектричних генераторів (ТЕГ) для бездротових датчиків, наприклад тих, що імплантуються або є частиною одягу і потребують від мікро-Вт до мілі-Вт потужності.

Нанокристалічні плівки NiO:Li були синтезовані за допомогою гідрохімічної технології послідовної адсорбції і реакції іонних шарів (Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction, SILAR). Зразки NiO отримували зануренням в водний розчин, що містив 0,1M NiCl₂ і мав рН 11,5 (відповідний рН досягали шляхом додавання аміаку в розчин) тривалістю 30 с. Далі зразок занурювали в дистильовану воду із температурою 90-95 °С і витримували в ній 7 с. Потім зразок сушили гарячим повітрям 20 с. По завершенні операції сушки плівку занурювали в дистильовану воду кімнатної температури на 20 с. Обробку в водному розчині 4M LiOH проводили протягом 20 хв. при кімнатній температурі. Після закінчення обробки зразки відпалювали в атмосфері повітря при температурі 550 °С протягом 2 годин.

Тип провідності плівок NiO:Li визначали за допомогою стандартного методу гарячого зонду. Питомий опір ρ плівок NiO:Li вимірювали за допомогою чотиризондового методу. Коефіцієнти Зеєбека Z вимірювали як індуковану термоелектрорушійну силу ΔV в залежності від градієнта температури ΔT вздовж плівки NiO:Li, нанесеної на скляну підкладку. Потім, термоелектричний коефіцієнт потужності P для плівок NiO:Li був розрахований як $P = Z^2/\rho$.

Отримані коефіцієнти Зеєбека Z становили 0,20-0,33 мВ/К. З'ясувалося, що плівки NiO:Li, вирощені методом SILAR на скляній підкладці, здатні генерувати 25 мВ напруги при різниці температур близько 75 К у разі нагріву одного кінця плівки до 95 °С та збереження іншого кінця при кімнатній температурі (20 °С). Максимальне значення P для зразків NiO:Li становило 2,2 мкВт/К²·м, при температурі нагрітого кінця плівки 115 °С.

Таким чином нам вдалося виготовити новий дешевий термоелектричний тонкоплівковий матеріал, придатний для виробництва електричної енергії для малопотужних приладів за рахунок поглинання низькопотенційної теплоти.

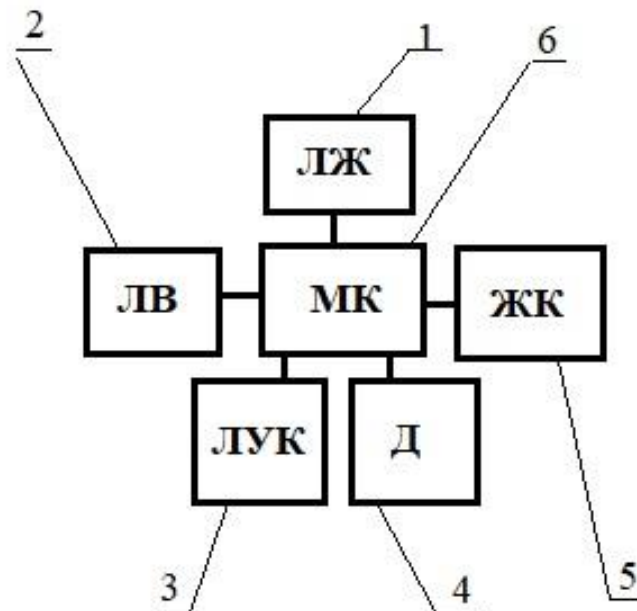
РОЗРОБКА ЦИФРОВОГО БЛОКУ УПРАВЛІННЯ ПОБУТОВИМ ХОЛОДИЛЬНИКОМ

Зайцев Р.В., Кабашна Д.М., Оверко М.Є.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Даний блок управління був розроблений з метою усунення недоліків манометричних терморегуляторів таких як наявність контакту, неможливість контролю аномальної напруги та затримка включення.

Блок-схема блоку управління побутовим холодильником приведена на рисунку. 1 ЛЖ - ланцюг живлення плати складається з блока живлення перетворюючого змінну напругу мережі 220 В у 12 В, і ланцюга стабілізації до 5 В, який живить всю схему. 2 ЛВ - вимірювальний ланцюг призначений для вимірювання напруги в мережі з метою контролю аномальних напруг.



Блок-схема блоку управління побутовим холодильником

3 ЛУК - ланцюг управління компресора забезпечує вмикання (вимикання) за досягнення необхідної температури. 4 Д - датчик температури і вологості міряє температуру та вологість у камері холодильника. 5 ЖК - LCD-дисплей та елементи управління температурою представлений готовим дисплейним модулем і двома кнопками відповідно для встановлення необхідної температури. 6 МК - плата мікроконтролера - Arduino Nano. Є керуючим елементом всього блоку управління. Вона забезпечує обробку інформації, що надходить з датчика, вимірювального ланцюга, сигналів і елементів управління і забезпечує виконання сценарію роботи всієї схеми згідно написаної програми.

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНДИЦИОНЕРА СПЛИТ – СИСТЕМЫ ДЛЯ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СИСТЕМЕ НАГРЕВА ВОДЫ

Истоцкий С.В., Юшко С.В.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

В настоящее время кондиционер стал обычным устройством в помещениях торговых и культурных центров, в офисах и квартирах. Наиболее распространены кондиционеры сплит - и мультисплит - систем с воздушным охлаждением конденсатора. При работе кондиционер потребляет значительное количество электроэнергии, которая, при трансформации низкопотенциальной теплоты преобразовывается в тепло. Все это тепло, в конечном счете, бесполезно передается через конденсатор в окружающую среду. Учитывая резко возросшую массовость кондиционеров, безвозвратно теряется огромное количество тепловой энергии.

Вместе с тем, все большее распространение получают солнечные коллекторы для нагрева воды. Предлагается модернизация наружного блока сплит - системы, при которой вместо (или в дополнении) штатного воздушного конденсатора устанавливается конденсатор с водяным охлаждением. При этом реализуется энергосберегающая технология: тепло конденсации не теряется бесполезно при передаче в окружающую среду, а используется на нагрев воды для бытовых целей. Технология может реализовываться самостоятельно или использоваться дополнительно в системе с солнечным коллектором.

Полезное использование тепла не единственное достоинство такой модернизации кондиционера. Также происходит понижение температуры конденсации и, следовательно, улучшаются характеристики холодильного цикла; отсутствие вентилятора снижает шумность. Вместе с тем, возникает необходимость в циркуляционном насосе, прокладке дополнительных трубопроводов для воды, что приводит к дополнительным расходам при монтаже системы и неудобствам при эксплуатации. Особенно это проявляется для кондиционеров в многоквартирных домах и офисных зданиях. Учитывая это, предлагаемая модернизация, в первую очередь, рассчитана для частных домостроений.

Для реализации данного проекта необходимо, прежде всего, определить параметры конденсатора с водяным охлаждением. Предложено использовать для этого простейший тип теплообменного аппарата типа "труба в трубе".

Для проектирования конденсатора на основании известной методики расчета теплообменников, зависимостей для определения коэффициентов теплообмена, гидравлических потерь для процессов нагрева потока жидкости и конденсации пара разработана программа для пакета Mathcad. Использование этой программы позволяет для кондиционеров, работающих на различных фреонах, с разной холодопроизводительностью рассчитать и провести оптимизацию конденсатора с водяным охлаждением типа "труба в трубе", определить количество и температуру нагреваемой воды.

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ МАГНИТНЫХ ПРОВОДНИКОВ

Копелиович А.И., Петренко Л.Г.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

У низкоразмерных систем свойства часто бывают совсем другими, чем у их трехмерных аналогов. В последнее время в научной литературе появляются сообщения о наблюдаемых в нанотрубках сверхпроводящих аномалиях.

Реакция макропроводников на внешние поля определяется, прежде всего, кулоновскими силами, действующими между носителями тока, благодаря чему проводники экранируют внешнее электрическое поле. Известно, что уменьшение размеров проводника, приводящее к одномерному характеру его проводимости, еще более увеличивает роль кулоновского взаимодействия, вместо ферми-жидкости формируется электронная жидкость Латтинжера-Томонаги.

В нашей работе показано, что в определенных условиях и определенной геометрии образца, даже металлического, кулоновское взаимодействие носителей оказывается пренебрежимо малым и его транспортные электронные свойства изменяются. Ферми-жидкость превращается в истинный ферми-газ. Необычные свойства такого ферми-газа могут быть использованы, например, при диагностике проводящих нановключений в диэлектрической среде.

Энергией кулоновского взаимодействия возбужденных внешним полем электронов можно пренебречь при выполнении условия: $e^2\Pi\ln(L/a) \ll \varepsilon$, где Π - электронная плотность на единицу длины проводника и на единичный интервал энергии электрона; e - заряд электрона, Σ - диэлектрическая проницаемость, определяемая связанными электронами проводника. Рассматривается модель проводника, один из размеров которого (толщина a) микромасштаба, а длина L значительно превосходит a , на ширину условия не накладываются.

В случае немагнитного проводника, а также магнитного при высоких температурах $kT \gg W_F$ при небольшой частоте столкновений $\{\ll u_g/L$ внешнее переменное поле приводит к появлению пиков проводимости при резонансных частотах $\omega_n = 2\Pi(n + 1/2)u_g/L$, где $u_g = (\rho/\Pi m_e)^{1/2}$ - скорость электронного звука.

А для магнетика резонансы сопровождаются пиками момента магнитного квадрупольного, в который превращается образец. Магнитное поле вблизи образца изменяется. Возникает электроспиновый эффект, проводник приобретает квадрупольный магнитный момент. В случае низких температур $kT \ll W_F$ кроме волны электронного газового звука в образце появляется также специфическая «магнитная» волна, обязанная взаимодействию спиновых компонент, движущихся с разной скоростью. Исследуя частотную зависимость квадрупольного магнитного момента можно определить значения различных существенных параметров магнитного проводника, в частности, частоту переворотов спина (частота процессов спин-флипа).

Литература:

[1] Копелиович А.И., Петренко Л.Г. «Low Temperature Physics» / «Физика низких температур», 2017, т.43, №2, с.253-258.

АКТИВІЗАЦІЯ ПІЗНАВАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ СТУДЕНТІВ НА ЗАНЯТТЯХ З ФІЗИКИ

Кривоніс С.С., Шелест Т.М., Храмова Т.І.
*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Фізика є пріоритетною базовою дисципліною в освітньому процесі при підготовці інженерних кадрів. Успішність та ефективність навчання залежить від багатьох факторів. Насамперед від базових знань студентів та мотиву навчання. Серед всіх мотивів навчання найбільш дієвим є інтерес студента до дисципліни. Як активізувати пізнавальну діяльність студентів, питання, яке завжди було й залишається актуальним.

При вивченні курсу фізики дуже важливо, щоб студентам було цікаво на кожному занятті. В багатьох студентів перша ситуативна зацікавленість предметом переходить у глибокий інтерес до науки фізики. В цьому контексті особливе місце належить такому ефективному педагогічному засобу, як цікавість. Цікавість (з педагогічної точки зору) - це прийом педагога, який, впливаючи на почуття студента, сприяє створенню позитивного настрою до навчання та готовності до активної розумової діяльності студентів незалежно від їх знань, здібностей та інтересів.

Матеріал лекції, наприклад, стає зрозуміліший для студентів, краще запам'ятовується, навчає творчо думати, якщо на лекції наводити приклади застосування на практиці того чи іншого фізичного закону. У слухачів виникає позитивна мотивація до вивчення фізики, яка в такий спосіб перетворюється із предмета складного в цікаву і потрібну науку.

До застосування цікавого матеріалу, як умови активізації пізнавальної діяльності студентів, ставлять ряд вимог. Цікавий матеріал повинен привертати увагу студентів постановою питання та спрямовувати їх думку на пошук відповіді. Цей матеріал повинен вимагати діяльності уяви в поєднанні з вмінням використовувати отриманні знання. Іноді для відповіді на питання студенти повинні читати додаткову літературу, самостійно шукати відповіді за межами підручників.

Місце цікавого матеріалу може бути різним. Зазвичай цікавість пов'язана з елементами несподіваності, в ній притягує новизна матеріалу. Тому доцільно використовувати цікавість при створенні проблемної ситуації. З цією метою можна використовувати різноманітні форми роботи при вивченні курсу «загальна фізика»: проведення цікавих дослідів; підготовка студентами рефератів та доповідей; виготовлення саморобних приладів, таблиць.

Таким чином, активізація пізнавальної діяльності полягає у цілеспрямованій діяльності викладача з метою розробки і застосування такого змісту, форм, методів, прийомів і засобів навчання, які сприяють підвищенню пізнавального інтересу, активності, творчості, самостійності в одержанні знань, формуванні вмінь та навичок, використання їх на практиці.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ФОТОНОВ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО

Кюппер П.Б., Зайцев Ю.И.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Актуальность темы исследования. В настоящее время метод Монте-Карло является основным методом решения разнообразных физических задач, когда вероятностная оценка этих явлений позволяет смоделировать особенности процесса на основе результатов натурального или численного эксперимента. Моделирование распространения фотонов с помощью метода Монте-Карло - это гибкий и точный подход к имитации поведения фотонов.

Целью работы является разработка математических моделей и численных алгоритмов исследования процесса рассеяния гамма-кванта на электроны.

Метод Монте-Карло позволяет учитывать несколько физических величин одновременно с любым пространственным и временным разрешением. Перспективы метода Монте-Карло безграничны для моделирования физических процессов в условиях недостатка информации о природе физического явления.

Суть решения физических задач методом Монте-Карло заключается в следующем: 1) физическому явлению или описывающим его уравнениям сопоставляется имитирующий вероятностный процесс; 2) величинам, являющимся решением задачи, сопоставляются математические ожидания случайных величин вероятностного процесса; 3) на основе специального алгоритма псевдослучайных чисел производится расчет реализаций случайных величин имитирующего процесса и решение (вместе со стандартной погрешностью) находится в виде средних значений, соответствующих математическим ожиданиям. Для модуляции процесса рассеяния гамма-кванта на электроны используется разложение Батлера. Дифференциальное сечение данного процесса описывается формулой Клейна-Нишины.

Выводы. Метод Монте-Карло является универсальным методом решения большого числа математических и научно-практических задач и подразумевает генерацию массивов псевдослучайных чисел γ , равномерно распределенных в интервале от 0 до 1, с последующим изменением закона их распределения, причем новый закон должен описывать моделируемое физическое явление.

Литература.

1. Андреев, В. В. / Метод Монте-Карло в физике элементарных частиц. - Учебная программа спецкурса, Гомель 2005. — 74 с.
2. Соболев И.М. /Метод Монте-Карло // Популярны лекции по математике. – М.: Наука, 1968. – Вып. 46. – 64 с.
3. Савельев И.В. / Курс общей физики. – Т. III: Оптика, атомная физика, физика атомного ядра и элементарных частиц. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1970. – 537 с.
4. Ф.С. Рухин. Основы технологии имитационного моделирования - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. - 760 с.

ГАЗОВЫЕ АНАЛИЗАТОРЫ НА ОСНОВЕ ПЛЕНОК НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КАРБИДА КРЕМНИЯ

Любов Д.В., Козловский А.А.*, Семенов А.В.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
*Институт монокристаллов НАНУ,
г. Харьков*

В современных разработках полупроводниковых датчиков детектирования и определения концентрации газов и газовых примесей в составе воздуха в качестве газочувствительных слоев широко используются слои металлоксидов, обладающие электронным типом проводимости. Несмотря на широкую гамму коммерчески производимых датчиков газов, продолжают активные поиски новых полупроводниковых материалов, способных улучшить газочувствительные и эксплуатационные характеристики датчиков. В первую очередь это относится к повышению селективности и чувствительности детектирования отдельных газов, усилению химической устойчивости к образованию соединений с адсорбируемыми молекулами и обеспечению необходимой термической и механической прочности сенсора.

Одним из перспективных материалов, свойства которого отвечают современным требованиям к полупроводниковым сенсорам газов являются слои нанокристаллического SiC (nc-SiC), получаемые оригинальным методом прямого осаждения ионов углерода и кремния с энергией 100–120 eV. Метод позволяет получать nc-SiC пленки различной политипной структуры с высоким содержанием нанокристаллической фазы (>80% ат) и различным типом проводимости, который определяется отклонением от стехиометрического состава SiC, обуславливающим появление вакансий углерода или кремния. Вакансиям углерода соответствуют донорные энергетические уровни в запрещенной зоне SiC, вакансиям кремния – акцепторные.

В настоящей работе изучена возможность разработки газочувствительных сенсоров на основе тонких пленок нанокристаллического SiC различной политипной структуры. Изучены зависимости удельной проводимости пленок от температуры.

Показано, что основным механизмом зарядопереноса в гетероструктурных образцах является туннелирование электронов через потенциальные барьеры, создаваемые разрывами зоны проводимости в контактной области гетероперехода. Туннельный зарядоперенос сквозь барьер осуществляется благодаря присутствию в запрещенной зоне энергетических состояний, связанных с размерным квантованием..

В связи с тем, что условиями получения в nc-SiC пленках возможно варьирование структуры и параметров туннельного барьера в широких пределах, мы планируем обеспечить высокую эффективность газочувствительности nc-SiC пленок путем оптимизации их структуры.

СІНХРОДЕТЕКТОР ДЛЯ ФЕРОЗОНДОВОЇ УСТАНОВКИ

Луб'яний Л.З., Оверко М.Є., Чичибаба І.О.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Сінхродетектор (СД) входить до складу ферозондової установки [1] і служить для формування постійної напруги з сигналу другої гармоніки феррозонда, пропорційного величині вимірюваного магнітного поля. Застосування СД дозволило значно підвищити чутливість установки за рахунок зменшення неінформативних гармонік вихідного сигналу. Відмінною особливістю даного СД є висока (400 кГц) частота комутації. Принципова схема СД представлена на рисунку.

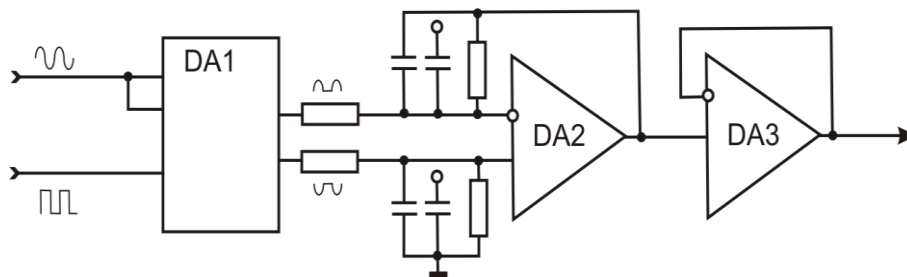


Схема сінхродетектора

Схема реалізована з використанням інтегральних ключів 590КН2 та операційних підсилювачів 140УД708. На вхід ключа DA1 поступає сигнал другої гармоніки феррозонда. Керуючі сигнали для роботи ключів формуються за допомогою спеціально розробленої схеми управління. На виході ключа отримуємо дві півхвилі, що відрізняються полярністю. За допомогою інтегратора на операційному підсилювачі DA2 відбувається детектування сигналів і виділення постійної складової, пропорційної зовнішньому полю. Постійна часу інтегрування може бути змінена вибором конденсаторів різної ємності. При вимірі магнітних полів вибирається постійна часу максимальною, а при вимірі флуктуацій магнітних полів – мінімальною.

До виходу СД через повторювач DA3 підключається вимірювальний прилад та здійснюється вихід на інтерфейс зв'язку з комп'ютером для подальшої обробки.

Література:

1 Л.З.Лубяний, В.Н. Самофалов, А.Н.Стеценко, А.Г.Равлик, И.А.Чичибаба Оптимизация феррозондов с многослойными плёночными сердечниками / ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ФИЗИЧЕСКАЯ, 2014, том 78, № 2. С. 142–146.

FUNCTIONALIZATION AND ELECTROSTATIC MULTIPOLES AT CNT AND GRAPHENE SURFACES

Lykah V. A.¹, Syrkin E. S.^{2,1}

¹*National Technical University*

«Kharkiv Polytechnic Institute»,

²*B.I. Verkin Institute for Low Temperature Physics and Engineering,*

National Academy of Sciences of Ukraine,

Kharkiv

Carbon nanotubes (CNTs) are 1D nano materials, quantization along axis exists; CNT is considered as quantum wire or quantum dot. Functionalization is powerful method for tuning CNT's quantum energy levels and physical properties. Functionalization of 2D graphene and bigraphene layers is also applied widely. The theory was developed for energy spectra tuning in the semiconducting nanowires and {\bf polarons} formation as the result of functionalization by molecular layers with (i) radial degree of freedom, (ii) conformational transition in the molecules and (iii) incommensurate structures.

Periodic distribution of metals, metal-organic and conducting polymers at CNT surface was found by TEM. The charge leads to electron and hole (pair), spatially separated in neighboring substrate (CNT) and a molecule or atom.

The aim of this work is theoretical consideration of initial stages of functionalization with the charge transfer. The functionalizing molecules (atoms) at a surface are considered for charge transfer between a molecule and substrate (CNT or graphenes), the electron-hole pairs are formed. The molecules (atoms) can be electropositive with the electronic negative clouds of the transferred charge or electronegative with the transferred positive holes. It is shown that at initial and intermediate stage of functionalization the intermolecular long-range interaction can be described as electrostatic dipole's and quadrupole's ones. We consider situation of enough small molecules with relatively large distance between ones. This model explains a homogeneous (sometimes periodic) distribution of adsorbed particles found in the experiments. At short-range distances, compared with the molecules size, the proposed method would be applied with higher error.

For separately adsorbed atoms or molecules we write dipole-dipole interaction which depend on orientation at the CNT or bigraphene surface. The same dipoles orientation leads to repulsing, the opposite one leads to attraction. They correspond to experimentally observed structures. Increasing of the functionalizing molecules concentration leads to formation of different clusters which can't be described in the present model.

The nanobelts, nanospheres, nanocrystals are formed at CNT or nanowire surfaces at higher concentration of the functionalizing molecules. These structures are periodic or almost periodic in experiment. We propose to describe the nanobelts with charge transfer as electric quadrupole (tensor of electric quadrupole moment). It is shown an indifferent equilibrium of a dipole exists between the nanobelts; a weak attraction to the nanobelts at short distances is realised. The nanobelts (quadrupole) are repulsed. These interactions create the stable periodic nanobelts structure as atomic (molecular) condensate at a CNT surface.

ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ОТ ТОЛЩИНЫ ТОНКИХ ПЛЕНОК Bi_2Se_3 ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Меньшикова С.И., Рогачева Е.И.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Bi_2Se_3 – узкозонный полупроводник, который известен как перспективный термоэлектрический (ТЭ) материал. Возможность увеличения ТЭ добротности в структурах с низкой размерностью на основе соединений V_2VI_3 , установленная экспериментально в [1], а ранее предсказанная теоретически [2], способствует исследованию кинетических свойств тонких пленок Bi_2Se_3 .

В тонких пленках возможно проявление классического размерного эффекта (КлРЭ), который наблюдается в случае, когда толщина пленки d порядка средней длины свободного пробега носителей заряда [3]. Ранее [4] для пленок Bi_2Se_3 , полученных термическим испарением в вакууме кристалла, экспериментально наблюдалось увеличение электропроводности σ с ростом d , что авторы связали с проявлением КлРЭ и удовлетворительно описали в рамках теории Фукса-Зондгеймера. При более низких температурах исследования толщинных зависимостей ТЭ свойств тонких пленок Bi_2Se_3 не проводились.

Цель работы – установить влияние толщины пленки d на величину электропроводности в тонких пленках Bi_2Se_3 при температуре жидкого азота.

Объектами исследования были тонкие пленки Bi_2Se_3 ($d = 15 - 365$ нм), выращенные термическим испарением в вакууме ($\sim 10^{-5} - 10^{-6}$ Па) кристаллов Bi_2Se_3 с последующим осаждением на стеклянные подложки. Толщину и скорость конденсации на подложку, которая составляла $0.1 - 0.15$ нм/с, контролировали с помощью предварительно откалиброванного кварцевого резонатора. Электропроводность σ измеряли при постоянном токе с погрешностью, не превышающей $\pm 5\%$, при температуре 77 К.

Установлено, что тонкие пленки Bi_2Se_3 обладают n -типом проводимости, как и исходный кристалл. Показано, что характер зависимости $\sigma(d)$ тонких пленок при температуре жидкого азота аналогичен полученному в работе [4] при комнатной температуре: величина σ увеличивается по мере роста толщины пленки. Наблюдаемый характер зависимости $\sigma(d)$ поясняется как проявление КлРЭ, связанного с увеличением вклада диффузного рассеяния электронов на интерфейсах тонкой пленки по мере уменьшения ее толщины.

Литература:

1. Venkatasubramanian, R. Thin-film thermoelectric devices with high room-temperature figures of merit / R. Venkatasubramanian, E. Siivola, T. Colpitts, et al. // Nature. – 2001. – 413. – P. 597-602.
2. Hicks L.D. Effect of quantum-well structures on the thermoelectric figure of merit / L.D. Hicks, M.S. Dresselhaus // Phys. Rev. B. – 1993. – 47. – 12727.
3. Комник Ю.Ф. Физика конденсированных металлических пленок / Комник Ю.Ф. – М.: Наука, 1979. – 270 с.
4. Menshikova, S.I. Dependence of electrical conductivity on Bi_2Se_3 thin film thickness / S.I. Menshikova, E.I. Rogacheva, A.Yu. Sipatov, et al. // Func. Mat. - 2017. - 24,4. - P. 555-558.

ЕЛЕКТРОННІ СПЕКТРИ ГРАФЕНА З ЛОКАЛЬНИМИ ТА ПРОТЯЖНИМИ ДЕФЕКТАМИ

Мінакова К.О.¹, Сиркін Є.С.²

¹*Національний технічний університет*

«Харківський політехнічний інститут»,

²*Фізико-технічний інститут низьких температур*

НАН України ім. Б.І. Веркіна,

м. Харків

Виражена гібридизація атомних орбіталей в монослої графена підвищує його температуру Дебая до 2500 К, що приводить до "низькотемпературних" ознак у коливальних термодинамічних властивостях графена та його похідних, нанотрубок та нано-стрічок у конкретному вигляді, при температурах вище навколишнього середовища. У БКШ представленні, що чітко простежується для широкого кола надпровідників, нетрадиційних, зокрема [1], слід очікувати високої температури надпровідного переходу, відповідно до середньої частоти фононів. У цьому підході відсутність надпровідності в звичайних графенових матеріалах пояснюється низькою щільністю носіїв заряду поблизу енергії Фермі (ϵ_F), а також відсутністю фононів для основного внеску до константи електрон-фононної взаємодії. У роботах [2,3] продемонстровано, що подібне збільшення кількості носіїв заряду та відповідних фононів відбувається у тонкій графеновій наноплівці, тобто бі- та триграфен з "step-edge" границею. Вклад еволюції електронних та фононних спектрів графена на ізоляційній підкладці посилює аналітичний та чисельний аналіз, коли графеновий шар розрізан по zig-zag лінії.

Показано, що така недосконалість значно збільшує як популяцію електронів на рівні Фермі, так і кількість квазі-згинальних фононів з частотами приблизно, що відповідають К-точці першої зони Бріллюена. В електронних спектрах графена з zig-zag границею з'являються хвилі, розщеплені смуги квазінепереривного спектра, які поширюються вздовж кордону і розпадаються на відстані від нього. Дисперсія в електронному спектрі релятивістська, але відповідає значно меншим значенням групової швидкості у порівнянні з нескінченним монослоєм графена. Подібну поведінку продемонстрували також електронні спектри графена з ізолюваною вакансією. Розщеплені хвилі призводять до утворення на локальній щільності стану різких резонансів, які значно збагачують спектр електронів поблизу рівня Фермі, а також фононний спектр поблизу точки перетину акустичних та оптичних гілок, поляризованих нормально до площини графенового монослою [3,4]. Представлені результати демонструють можливість спрощення надпровідності у графеновій речовині шляхом регульованого створення дефектів.

Література:

- [1] Maksimov E G 2008 *Phys. Usp.* **51** 167.
- [2] Eremenko V V, Sirenko V A, Gospodarev I A, Syrkin E S, Feodosyev S B, Bondar I S, Saxena S S, Feher A, Minakova K A. 2016 *Low Temp. Phys.* **42** 99.
- [3] Eremenko V V, Sirenko V A, Gospodarev I A, Syrkin E S, Feodosyev S B, Bondar I S, Minakova K A 2016 *Journal of Science: Advanced Materials and Devices* **1** 167
- [4] Eremenko V. V., Sirenko V. A., Gospodare I. A., Syrkin E. S., Feodosyev S. B., Bondar I. S., Minakova K. A. 2017 *Low. Temp. Phys.* **43** 1323.

МОДИФІКАЦІЯ ПОВЕРХНІ ГНУЧКОГО МЕДИЧНОГО ПОЛІУРЕТАНУ ЗА ДОПОМОГОЮ БІОСУМІСНИХ НАНОПОКРИТТІВ, ОТРИМАНИХ ВАКУУМНО-ДУГОВИМ ЗАСОБОМ

Ніколайчук Г.П., Таран А.В.*

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,*

** Національний Науковий Центр
«Харківський фізико-технічний інститут»,
Інститут фізики плазми,
м. Харків*

В роботі представлені результати дослідження морфології поверхні, елементарного та фазового складу, мікроструктури нових метало-полімерних конструкцій для поліпшення біосумісності гнучких, але гідрофобних імплантатів з поліуретану. Використовуючи технологію фізичного осадження парів, отриманих вакуумно-дуговим засобом з ВЧ полем, були нанесені тонкі покриття цирконія (Zr) або титана (Ti), та їх нітридів (TiN, ZrN) товщиною 50-70 нм на плівку з поліуретану при 60°C. Вибір таких покриттів на поліуретані дозволить об'єднати властивості полімеру (наприклад, еластичність, судиноподібність) з властивостями тонкого металевого покриття (біосумісність, стійкість до корозії та деградації).

Синтез покриттів проводився на пристрої типу "Булат-6". В наших експериментах очищення поверхні здійснювалося лише за допомогою ВЧ плазми. Під час очищення в аргонівому середовищі використовувались наступні параметри розряду при тиску $P = 6 \times 10^{-1}$ Па: негативний потенціал на підкладці становив - 500 кВ, час очищення становив 15 хв. Осадження покриттів проводилось за допомогою вакуумно-дугового нанесення з високочастотним полем. Потенціал зміщення подавався на підкладку з ВЧ генератора, який виробляв імпульси коливань на частоті 5 МГц.

За допомогою просвічувальної електронної-мікроскопії проведено дослідження фазового складу і структури отриманих тонких плівок. Встановлено, що на поверхні поліуретану утворюються однофазні полікристалічні плівки α -Zr і α -Ti гексагональної модифікації з розміром зерна 0,1 мкм. Дослідження фазового складу плівок нітриду титану і цирконію на поверхні відколів кристалів KCl вказує на формування однофазних плівок ZrN і TiN з кубічною структурою.

Проведено аналіз поверхні чистих плівок титану і цирконію та її нітридів засобом скануючої електронної мікроскопії. Встановлено, що для тонких шарів плівок та короткого часу осадження оригінальна структура поверхні поліуретанової плівки залишається незмінною і відбувається так звана "хвилеподібна формація", яка йде за природною поверхнею полімеру.

ГРАНИЦЯ СИЛЬНОГО ТА СЛАБОГО МАГНІТНИХ ПОЛІВ ПОЛІКРИСТАЛІВ $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ ($x = 0.06 - 0.08$) ЗА НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР

Новак К.В., Дорошенко Г.М.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Напівпровідникові тверді розчини (ТР) $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ – відомі низькотемпературні ($\delta \approx 200$ К) термоелектричні (ТЕ) матеріали, в яких досягаються найвищі значення ТЕ добротності $Z = (6 - 7) \oplus 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ [1]. Раніше [2-4] для полікристалів $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ при концентраціях сурми, що відповідають електронному фазовому переходу (ЕФП) напівметал-напівпровідник ($x < 0.06 - 0.07$) виявлені аномальні ділянки на концентраційних залежностях різноманітних властивостей. Було показано [3,4], що за температури 300 К величина критичного магнітного поля B_C – границя сильного та слабого магнітних полів – різко зменшується при переході від напівметалевих до напівпровідникових ТР $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$. У зв'язку з високою чутливістю зонної структури $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ до температури актуальним є дослідження величини B_C цих сплавів поблизу ЕФП напівметал-напівпровідник за низьких температур.

Об'єкти дослідження – полікристали $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ ($x = 0.06; 0.07; 0.08$), що піддавались гартуванню на повітрі з подальшим відпалом протягом 720 годин при 520 К [2]. Вимірювання R_H та $\Delta\rho/\rho$ проводили за допомогою стандартного dc методу на зразках у формі паралелепіпеда $10 \times 3 \times 2$ мм у температурному інтервалі $T = 80 - 300$ К та діапазоні магнітних полів $B = 0.01 - 1.0$ Тл.

Підтверджено аномальну поведінку ізотерм $R_H(x)$ – різке зменшення R_H поблизу переходу напівметал - напівпровідник ($x \sim 0.07$) при температурах 80 К та 300 К. Отримана за $T = 300$ К величина B_C дорівнює 0.05 Тл, що добре узгоджується з даними кімнатних досліджень у роботі [3]. Встановлено, що зі зменшенням температури значення B_C зменшується до < 0.02 Тл, що слід враховувати при низькотемпературних дослідженнях кінетичних характеристик полікристалів $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$.

Література:

1. Tritt T.M. Semiconductors and Semimetals: Recent Trends in Thermoelectric Materials Research. San Diego: Academic Press. – 2001. – I. – V. 69. – P. 101137.
2. Дорошенко А.Н. Термоэлектрические свойства поликристаллических твердых растворов $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ в интервале концентраций $x = 0 - 0.25$ / А.Н. Дорошенко, Е.И. Рогачева, А.А. Дроздова и др. // Термоэлектричество. – 2016. – № 4. – С. 25-39.
3. Doroshenko A. Magnetoresistance of polycrystalline $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ alloys ($x = 0 - 0.07$) / A. Doroshenko, K. Martynova, E. Rogacheva // 2017 IEEE International Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering “YSF-2017” (october 17-20, 2017, Lviv, Ukraine). – Book of papers. – 2017. – P. 199 – 202.
4. Rogacheva E.I. Magnetic field dependences of galvanomagnetic properties of polycrystalline Bi–Sb solid solutions / E.I. Rogacheva, A.A. Drozdova, I.I. Izhnin, M.S. Dresselhaus // Phys. Stat. Sol. (a). – 2009. – V. 206. – P. 298-302.

СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ОТ АВАРИЙНОЙ ПРОТЕЧКИ ВОДЫ

Оверко Н.Е., Грибенюк В.Е.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Данная разработка является модернизацией ранее разработанного устройства, описанного в [1], которое сигнализировало о наличии воды в зоне контроля. Устройство было дополнено системой управления шаровым краном для перекрытия потока воды в случае аварийной ситуации. Схема устройства приведена на рисунке.

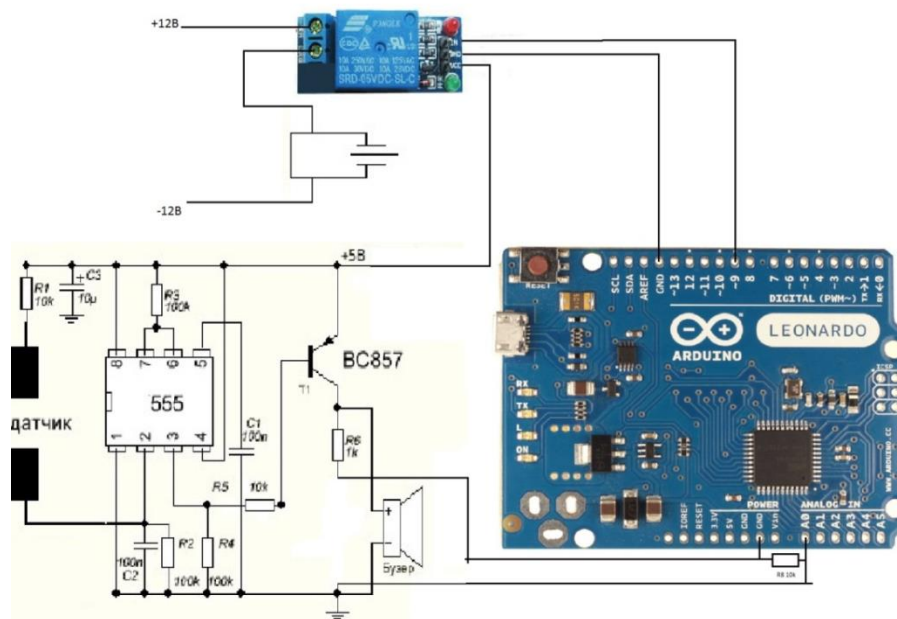


Схема устройства

Устройство работает следующим образом. Датчик имеет 2 контакта для анализа влажности поверхности, которые расположены в непосредственной близости от пола. Контакты лучше выполнить из нержавеющей стали либо из латуни с последующим лужением, чтобы предотвратить их окисление.

При появлении воды в зоне контроля начинает протекать ток через датчик, что приводит к появлению на выходе измерительного устройства высокого уровня напряжения. Выходной сигнал поступает на основную плату, которая подает ток управления на электродвигатель, приводящий в движение шаровый кран. При этом подача воды прекращается.

Литература:

1 Оверко М.С., Грибенюк В.Є. Система сигналізації про аварійне протікання води // Тези доповідей XXV міжн. наук.-практ. конф. «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я», 2017р., Харків: НТУ «ХПІ», Ч.ІІ, с. 101.

ОСОБЕННОСТИ ИЗЛОЖЕНИЯ КУРСА ФИЗИКИ В ВУЗЕ

Петренко Л.Г., Дьяконенко Н.Л., Белозерцева В.И.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Мы уже неоднократно обсуждали проблему интенсивного внедрения в учебный процесс онлайн технологий. Сейчас мы наблюдаем, что эти технологии во многих случаях стали тормозить интеллектуальное развитие молодёжи. Сейчас молодые люди не расстаются со своими планшетами. Они владеют новыми компьютерными технологиями, хорошо ориентируются в Интернете, но очень часто не знают элементарных для интеллектуально развитого человека вещей – как устроен мир, какие законы природы существуют, как их применить при решении конкретных технических задач. Им просто некогда думать. Они не хотят тратить время на размышления. Проще – нажать кнопку, получить ответ на экране, нажать ещё одну кнопку и получить оценку. Мы, преподаватели физики, часто сталкиваемся с совершенно парадоксальными письменными ответами студентов на самые простые вопросы. Яркий пример – студент, отвечая на вопрос «Метод зон Френеля» стал излагать теорию психоанализа Фрейда. Чуть-чуть не ту кнопку нажал на своем гаджете!

Проблема состоит в том, что количество учебных часов, отводимых для личного контакта преподавателя со студентом (т.е. на собеседование), с каждым годом катастрофически сокращается. Проверка знаний студентов, как правило, сводится к проведению тестирования. Сами студенты признаются, что ответы на вопросы тестов часто просто угадывают (называют это методом исключения маловероятных ответов).

Наша система образования настроена на катастрофическое сокращение учебных часов по физике. Фактически происходит переход на заочную форму обучения. Применяя компьютерные технологии, преподаватели физики формируют свои курсы лекций в электронном виде, или в виде презентаций. Но освоить эти курсы студентам трудно без общения с преподавателем. А у нас в техническом вузе 3-х семестровый курс физики (224уч.ч.) на многих специальностях сокращён до 2-х семестрового (128уч.ч.) и даже одно-семестрового (64уч.ч.). Вот за такое время нужно студентам рассказать, как устроен мир, научить проводить эксперименты, анализировать их, делать выводы, научить решать задачи из любой области человеческих знаний, провести коллоквиумы и контрольные работы. Это не путь совершенствования высшего технического образования, а его деградация, которая приведёт к невозможности освоения выпускниками технического вуза современных наукоёмких технологий.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ УТВОРЕННЯ ІНЕЮ НА ПОВЕРХНІ ВИПАРНИКА

Руденко М.З., Юшко С.В.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

В ході досліджень було виявлено загальні закономірності, властиві процесу утворення інею на поверхні охолодження. Встановлено існування двох періодів тепло- і масообміну. Для першого періоду характерно швидке зростання таких характеристик як товщина, щільність шару, температура поверхні та ін. При цьому значення теплового та масового потоків падають. Це нестационарний режим.

Другий період настає через 2 - 4 години та називається квазістационарним. Для нього характерно незначні зміни в часі температури поверхні шару, щільності теплового та масового потоків, коефіцієнту теплообміну. Але товщина, щільність та теплопровідність шару продовжують збільшуватися.

Виявлено, що температура поверхні інею зростає до значень близьких до температури потрійної крапки. Надалі відбувається її слабкий ріст, тобто температура поверхні інею практично стабілізується. Найбільша швидкість росту товщини інею має місце в початковий момент часу.

Показано, що щільність змінюється в часі. У початковий період часу щільність інею залежить від способу охолодження. Надалі, щільність інею буде безупинно збільшуватися, внаслідок процесів перекристалізації.

Встановлено неоднозначність залежності коефіцієнта теплопровідності від його щільності, що обумовлено інтенсивністю процесів перекристалізації в шарі.

Виявлено, що при постійних значеннях вологості та досягненні на поверхні шару температури потрійної крапки, відзначалися циклічні коливання товщини й щільності. При зменшуваній вологості товщина й щільність прагнули до деякого граничного значення, після чого спостерігалися незначні коливання з більшою амплітудою.

КОМП'ЮТЕРНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ БАЛІСТИКИ В ШКІЛЬНОМУ КУРСІ ФІЗИКИ

Сендеров О.А., Тупчий Я.Р.,
ХЗОШ № 164, Математичний гурток,
м. Харків

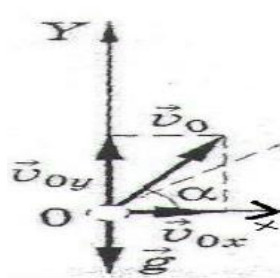


Рис. 1. Розкладення сил,
діючих на тіло в польоті

Засновник науки «Балістики» Галілео Галілей поклав в її основу дослідження параболи. При цьому швидкість тіла, яке рухається під кутом α до горизонту (V_0), розкладається на дві складові частини: горизонтальну (V_{0x}) і вертикальну (V_{0y}). При цьому, на тіло діє поле земного тяжіння з прискоренням $g=9,8 \text{ м/сек}^2$ – (див. рис.1.).

Розрахунки показують, що при таких даних тіло рухається по параболі в вертикальній площині, спочатку рівнозамедлено, а потім рівноприскорено.

Наявність у параболі екстремальної точки, а також точки фокусу сприяє прагненню використати саму параболу в якості математичної моделі для багатьох прикладних технічних і природних процесів. Але параболу – це є Ідеалізоване допущення, бо в реальних умовах під час польоту на тіло діють перешкоди, такі як вітер, дощ, сніг, та інші. Тому дійсна траєкторія польоту тіла буде в реальних умовах дещо відрізнятися від ідеальної математичної параболи (див. рис.2). Тому природно, що виникла так звана



Рис.2. Ідеальна і реальна траєкторії польоту
снаряда

«артилерійська задача». Ця задача має велику історію, починаючи з дослідів Галілея. В своєму сучасному вигляді ця задача має такий вираз: «Знайти оптимальний кут нахилу ствола артилерійської гармати до горизонту, так щоб поразити ціль на заданій відстані». Математична постановка (в межах шкільної програми) слідує:

Визначити кут нахилу ствола гармати, при відомій дальності цілі по формулам: $S = V_0^2 \sin(2\alpha)/g$, $S_{\max} = V_0^2/g$, при $\sin(2\alpha)=1$

Тоді при даній відстані до цілі (S_0)

будемо мати кут нахилу ствола гармати рівним: $\alpha = 0,5 \times \arcsin(S_0 \times g / V_0^2)$.

Все це потребувало складних математичних розрахунків. Тому до цієї роботи долучалися багато відомих математиків, починаючи з І.Ньютона. Результатом цієї роботи є спеціальні «балістичні таблиці», які корегують в кожній конкретній ситуації процес наведення гармат. В сучасних умовах використовуються комп'ютери. Нами також розроблена комп'ютерна програма «Балістичний калькулятор» на мові Делфі. Ця програма дозволяє вирішувати цю задачу. Але це є «ідеальна», тобто спрощена балістична задача. В реальній ситуації на політ снаряду впливає багато факторів, таких наприклад як сила та напрям вітру, дощ та сніг, широта та довгота місцезнаходження гармати, швидкість обертання Землі, та інші фактори.

Таким чином, в нашій доповіді наведені постановка і алгоритм розв'язання задачі розрахунку балістичної траєкторії в полі земного тяжіння.

ВЗАИМОДИФФУЗИЯ В СВЕРХРЕШЕТОЧНЫХ НАНОСТРУКТУРАХ PbTe-SnTe

Сипатов А.Ю., Иващенко Е.П.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Сверхрешетки (многослойные структуры с периодическими наноразмерными слоями полупроводников) открывают широкие возможности как для фундаментальных исследований в области физики твердого тела, так и для создания новых функциональных элементов. Для таких структур важное значение имеет состояние межфазных границ - их шероховатость, резкость перехода от одного слоя к другому, наличие и величина перемешанных зон, а также временная и температурная стабильность их структуры и свойств. Диффузионные процессы в таких сверхтонких слоях с большим градиентом концентраций элементов могут иметь свои особенности и отличия от массивного состояния. Поэтому, исследования взаимодиффузии слоев в сверхрешетках (СР) имеет очень важное значение как в теоретическом, так и в практическом аспектах.

Одним из наиболее эффективных методов исследования СР является рентгеновская дифракция, которая позволяет по изменению интенсивности рефлексов-сателлитов не только проследить процессы перемешивания слоев, но и определить коэффициенты их взаимодиффузии:

$$\ln[I_k(\tau_2)/I_k(\tau_1)] = -8k^2\pi^2 D(\tau_2 - \tau_1)/H^2 \quad (1)$$

где: D - коэффициент диффузии; H - период сверхрешетки; k - порядок рефлекса-сателлита; I_k - относительная интенсивность рефлекса-сателлита k -го порядка, нормированная на интенсивность рефлекса нулевого порядка; τ - время отжига.

Предметом исследования данной работы являются СР PbTe-SnTe с периодами 28 нм (число периодов - 20). Серия диффузионных отжигов проводилась в вакууме при температурах 473 К, 523 К и 573 К. Периодически образцы вынимались для рентгеновских съемок по схеме $\Theta - 2\Theta$ в отражении (200).

Установлено, что имеется два этапа диффузии для данных материалов: быстрая (на начальных этапах отжигов) и медленная. Используя выражение (1) были определены коэффициенты взаимодиффузии материалов слоев, значения которых составляют:

для быстрой диффузии: $D = 8 \times 10^{-18}$ см²/с (473 К); 1×10^{-16} см²/с (523 К); 2.9×10^{-16} см²/с (573 К);

для медленной: $D = 1.4 \times 10^{-18}$ см²/с (473 К); 1.8×10^{-17} см²/с (523 К); 4.8×10^{-17} см²/с (573 К);

Учитывая закон Аррениуса ($D = D_0 \exp(E/kT)$), были определены значения энергии активации E и предэкспоненциального множителя D_0 для этапов быстрой и медленной диффузии:

для быстрой: $D_0 = 1.9 \times 10^{-9}$ см²/с; $E = 0.77$ эВ;

для медленной: $D_0 = 1.5 \times 10^{-9}$ см²/с; $E = 0.85$ эВ.

**ТЕМПЕРАТУРНІ ЗАЛЕЖНОСТІ
ГАЛЬВАНОМАГНІТНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ
НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ТВЕРДИХ РОЗЧИНІВ $\text{PbSe}_{1-x}\text{Te}_x$**

Тавріна Т.В., Водоріз О.С., Рогачова О.І.,

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Напівпровідникові тверді розчини $\text{PbSe}_{1-x}\text{Te}_x$ представляють значний інтерес для застосування в термоелектриці як матеріали середньотемпературного діапазону (600 – 900 К). Це стимулює проведення детальних досліджень кінетичних явищ у цих матеріалах в залежності від складу твердих розчинів, температури, технологічних умов виготовлення сплавів та інших факторів. Оскільки при виготовленні термоелектричних приладів широко застосовуються пресовані матеріали (завдяки підвищеним міцності та ступеню їх гомогенності порівняно з литими), представляє інтерес дослідження саме таких зразків.

Мета роботи – одержання температурних залежностей гальваномагнітних властивостей твердих розчинів $\text{PbSe}_{1-x}\text{Te}_x$ ($x = 0 - 0.045$) та побудова на їх основі ізотерм електропровідності, коефіцієнта Холла та рухливості носіїв заряду.

Вимірювання електропровідності σ та коефіцієнта Холла R_H проводили на пресованих зразках у формі паралелепіпедів з розмірами 10x3x2 мм. Зразки було виготовлено методом гарячого пресування (температура 650 К, тиск 0.4 ГПа) з наступним гомогенізуючим відпалом (температура 720 К, час відпалу 260 годин) і охолодженням печі до кімнатної температури. Коефіцієнт Холла та електропровідність вимірювали в інтервалі температур 77 – 300 К методом постійного струму і постійного магнітного поля. На основі значень σ та R_H було розраховано рухливість μ_H і концентрацію носіїв заряду. Похибка вимірювання σ та R_H складала $\pm 5\%$.

Показано, що для всіх зразків напівпровідникових твердих розчинів PbSe-PbTe зростання температури призводить до монотонного зниження електропровідності, коефіцієнта Холла та рухливості носіїв заряду. На основі температурних залежностей гальваномагнітних властивостей побудовано ізотерми σ , R_H і μ_H при вмісті PbTe від 0 до 4.5 мол.%. Розраховано степеневі коефіцієнти в температурній залежності μ_H та на їх основі визначено переважаючі механізми розсіювання носіїв заряду в залежності від температури та складу твердих розчинів.

Одержані результати слід враховувати при подальшій інтерпретації та оптимізації властивостей напівпровідникових твердих розчинів PbSe-PbTe з метою їх практичного застосування в термоелектриці.

ВИКОРИСТАННЯ НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНОГО КОМПЛЕКСУ ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ ВНЗ

Храмова Т.І., Кривоніс С.С., Шелест Т.М.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Вивчення навчальної дисципліни: «Фізика» відіграє важливу роль у професійній підготовки майбутніх фахівців.

Для студента – важливо не лише осмислити й засвоїти інформацію, а й оволодіти способами її практичного застосування і прийняття рішень.

Для досягнення основної мети навчання програмою передбачені наступні форми навчання:

- фронтальна форма навчання, коли усі студенти під контролем викладача виконують одне і теж завдання одночасно;
- групова форма навчання, коли студенти поєднуються в групи, які працюють паралельно;
- індивідуальна форма навчання, коли студенти виконують завдання послідовно, один за одним.

При цьому, залежно від необхідності досягнення рівнів знання чи вміння викладач використовує наступні методи:

пояснювально-ілюстраційний метод, при якому викладач доводить готову інформацію різними засобами, а студенти її сприймають, усвідомлюють та фіксують у пам'яті. Знання, які отримані в результаті реалізації цього методу не формують вміння, цей метод використовується для досягнення рівня «Знати»;

репродуктивний метод, головною ознакою якого є доведення і повторення способу діяльності, згідно завдання викладача. Він повинен використовуватися при проведенні практичних занять. Використовуючи цей метод, студент досягає рівня «Вміти» при вивченні теми.

Вищевказані методи надають студентам знання, вміння, навички. Для розвитку їх творчих здібностей викладач повинен використовувати методи проблемного навчання: проблемне викладання, частково-пошуковий (евристичний) метод, винахідницький метод.

Проблемне викладання використовується викладачем при постановці проблеми перед тими, хто навчається і подальшого її вирішення, але при цьому викладач показує шляхи рішення, розкриває хід своєї думки. Цей метод повинен застосовуватись викладачем під час проведення практичних занять.

Частково-пошуковий (евристичний) метод служить меті поступового наближення студентів до самостійного вирішення проблем шляхом попереднього навчання виконання окремих елементів рішення. Використовується при виконанні практичних завдань коли спосіб пошуку оптимального рішення визначає викладач, але рішення знаходить сам студент.

Винахідницький метод є необхідним для повноцінного засвоєння досвіду творчої діяльності. Викладач використовує його для забезпечення творчого застосування знань.

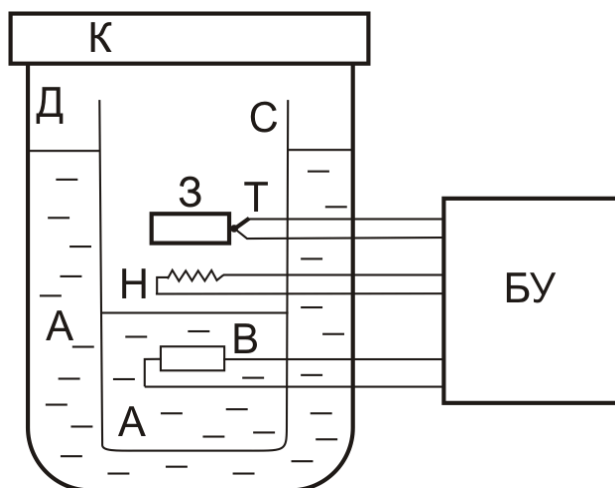
Тільки проблемні методи забезпечують глибоке засвоєння знань на рівні їх творчого застосування, оволодіння методами творчого мислення, досвідом практичної і творчої діяльності.

ПРИСТРІЙ ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПРИ ВИВЧЕННІ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВТНП МАТЕРІАЛІВ

Чичибаба І.О., Луб'яний Л.З., Оверко М.Є.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Пристрій призначений для задання температурних режимів в складі установки для комплексного дослідження властивостей ВТНП матеріалів [1] і схематично представлений на рисунку.



Схематичне зображення пристрою для регулювання температури

Досліджуваний зразок 3 поміщається в тонкостінний стакан С і знаходиться в парах рідкого азоту А. Стакан в свою чергу розміщується в посудині дьюара Д, що також заповнена рідким азотом. Для зменшення теплопритоків дьюар закритий кришкою К.

Температура в зоні зразка визначається зовнішніми теплопритоками і інтенсивністю випаровування рідкого азоту. Температура контролюється за допомогою диференціальної термопари Т, холодний спай якої знаходиться в рідкому азоті, а теплий - в зоні зразка. Значення мінімальної (T_{\min}) і максимальної (T_{\max}) температур (температурний коридор) визначається умовами конкретного експерименту і задається за допомогою спеціально розробленого електронного блоку управління БУ.

Підтримання температурного режиму відбувається наступним чином. Якщо температура зразка менше T_{\min} , включається нагрівач Н, і температура підвищується. Якщо температура зразка більше T_{\max} , включається випарник В, і за рахунок більш інтенсивного випаровування рідкого азоту температура зменшується. У діапазоні від T_{\min} до T_{\max} нагрівач і випарник вимкнені, тобто реалізована трипозиційна схема регулювання температури.

Література:

1 Лубяний Л.З., Мамалуй А.А., Саблин И.Н. Эффекты повышения T_c и термическая обработка $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ //ФММ, т.90, №3, 2000, с.447-449.

ВИВЧЕННЯ МІКРОСКОПІЧНОЇ МОРФОЛОГІЇ ПОВЕРХНІ КРИСТАЛІВ NbSe₂

Шелест Т.М., Ликах В.О., Любов В.М.
*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Монокристали NbSe₂ належать до широкого класу низьковимірних систем. Квазідвовимірні монокристали NbSe₂ складаються із шарів, кожен із яких являє собою сандвіч з двох шарів атомів Se з шаром атомів Nb між ними. Монокристали NbSe₂, що досліджуються в роботі, були вирощені методом газотранспортних реакцій. Для створення вакансій селену монокристали NbSe₂ піддавались термічному впливу.

Поверхня зразків NbSe₂ була досліджена на растровому електронному мікроскопі до та після термообробки. Електронномікроскопічні знімки NbSe₂ були отримані від площини *ab*. Для монокристалів NbSe₂ площина *ab* визначається однозначно, тому що кристали ростуть у вигляді пластинок, вздовж яких розташовуються сандвічі.

На електронномікроскопічних знімках поверхні зразків NbSe₂ були виявлені структури, які склалися з *валиків*, що мають довжину до 0.4 мм, а їх ширина і висота варіюється від 5 до 20 мкм. Між валиками спостерігаються кути взаємної орієнтації 60° та 120°. Виходячи з цього та з трикутної будови кристалічної комірки NbSe₂ можна припустити, що зростання валиків відбувається переважно вздовж напрямків «ланцюжків» селену на поверхні, тобто вздовж щільно упакованих напрямків селену на поверхні. Якщо розглядати ромбічні структури із атомів селену, то такі утворення можуть бути отримані при зростанні вздовж сторін ромба та його малої діагоналі. Очевидно, зростання відбувається випадковим чином, тому спостерігаються і інші напрямки взаємної орієнтації структур що утворюються під кутами 30 та 90 градусів. Якщо розглядати ромбічні структури із атомів селену, то такий вигляд утворень можна отримати при зростанні вздовж більшої діагоналі ромба. В місцях стикування фрагментів мають місце і відхилення на 5-10 градусів.

Утворення структури валиків визначається балансом між осадженням парів на вершині валика (більш насичених) та дифузному розтіканні атомів по поверхні за рахунок достатньо високої температури. Температура зростаючого кристала повинна бути достатньо низька для осадження парів та разом з тим достатньо висока для поверхневої дифузії. Якщо температура зразка що осаджується досить висока, то і осідання парів буде слабким і поверхнева дифузія згладить валики що утворюються. При закінченні зростання температура знижується і утворена структура фіксується.

Встановлено зв'язок між симетрією кристалічної ґратки та мікроскопічною морфологією NbSe₂ та запропоновано механізм зростання кристалів NbSe₂ методом газотранспортних реакцій.

STRUCTURE CHARACTERIZATION OF MULTICOMPONENT AMORPHOUS ALLOYS BASED ON ZIRCONIUM

Shipkova I.G., Malykhin S.V., Surovitskiy S.V., Zhelunitsina K.A.

*National Technical University
«Kharkiv Polytechnic Institute»,
Kharkiv*

For the last years multicomponent amorphous and nanocrystalline systems attract a special attention of new materials developers. In particular, intensive investigations in search of enhanced radiation resistance materials are carrying out. Such materials are the amorphous alloys based on zirconium.

In the present work using X-Ray diffraction patterns we have studied structure characteristics of $Zr_{57}Cu_{15.4}Ni_{12.6}Al_{10}Nb_5$ amorphous bulk alloys before and after irradiation by low energy deuterium plasma ions. We applied the method of construction of radial distribution function (RDF) by means of Fourier transformation of interference function $i(S)$, where S is wave vector. Using this method for multicomponent systems it is possible to determine radii of coordination spheres and total number of nearest neighbors in first coordination sphere (coordination number N_G) [1]. X-Ray diffraction measurements were carried out with reflection technique using DRON-2 diffractometer with $Cu K_\alpha$ radiation in θ - 2θ geometry and with crystal-monochromator. Algorithm of RDF calculation was realized in special program in MatLab environment.

Diffraction patterns of the samples before and after irradiation revealed broad halo that was evidence of amorphous state of alloy. Interference function and RDF are shown in Fig1a,b. Position of the first RDF peak $r_1 = 3,20 \text{ \AA}$ practically coincides with doubled radius of zirconium atom ($R_{Zr} = 1,59 \text{ \AA}$) which is the largest in size and in number among other atoms of system. The coordination number before irradiation $N_G = 13,4$.

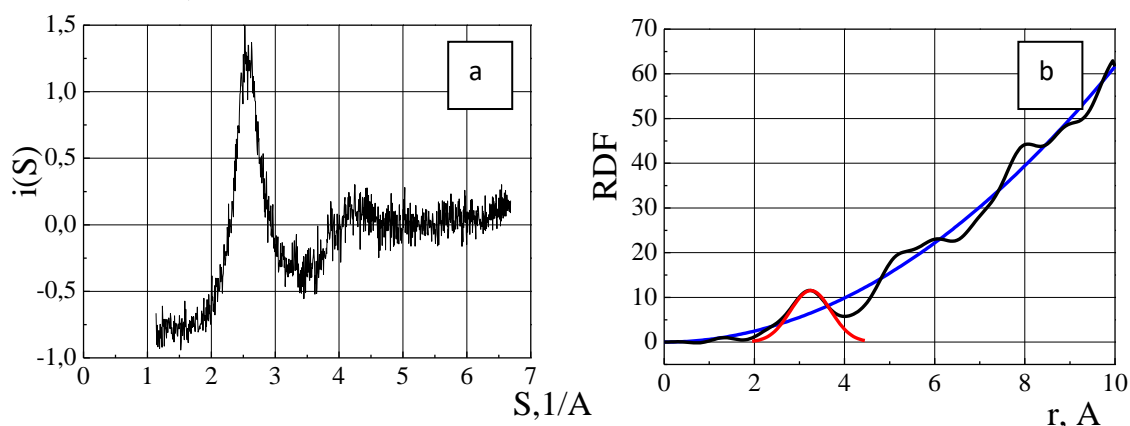


Fig.1- Interference function (a) and RDF (b) of $Zr_{57}Cu_{15.4}Ni_{12.6}Al_{10}Nb_5$ alloy

Calculations for irradiated samples show that the first peak position shifts to lower values $r_1 = 3,15 \text{ \AA}$ ($0,05 \text{ \AA}$ lesser). To explain this effect we used a mechanism of exchange of dissimilar atoms between the first and the second coordination shells as result of impact under irradiation.

Література:

[1] Glassy Metals II: Atomic Structure and Dynamics, Electronic Structure, Magnetic Properties: Edited by H.Beck and H.-J.Güntherodt. – Springer-Verlag, Berlin, 1983.

РАСЧЕТ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОНДИЦИОНИРУЕМОГО ВОЗДУХА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ

Юшко С.В., Мельников И.В.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков*

Под кондиционированием воздуха в помещении подразумевается контроль и поддержание не только температуры, но и относительной влажности воздуха. Крупные центральные системы кондиционирования именно так и работают, имея в своем составе блоки охлаждения и подогрева, осушки и увлажнения воздуха. Однако, в наиболее распространенных кондиционерах сплит - системы с различной холодопроизводительностью, которые могут устанавливаться в различных помещениях, отсутствуют функции контроля и поддержания влажности воздуха. Влажность воздуха при этом устанавливается на некотором равновесном уровне и зависит от многих параметров: температуры и влажности наружного воздуха, коэффициента рециркуляции, влаговыделений в помещении, параметров испарителя кондиционера (конструкции, температуры, скорости воздуха), величин внешних теплопритоков и мощности кондиционера.

Предлагается модель для расчета равновесной влажности воздуха в кондиционируемом помещении. Принято допущение, что воздух, проходящий через испаритель кондиционера, условно делится на две части в некотором соотношении. Одна часть воздуха не взаимодействует с теплопередающей поверхностью испарителя и не изменяет ни температуры, ни влагосодержания. Другая часть воздуха "идеально" контактирует с поверхностью испарителя и охлаждается до ее температуры. Если эта температура ниже точки росы, то на поверхности испарителя из этой части влажного воздуха конденсируется влага. При этом влагосодержание влажного воздуха уменьшается до состояния насыщения (100% влажность). Температура и влажность выходящего из испарителя потока определяются по уравнениям для смеси газов. Далее, этот воздух поглощает внешний теплоприток и внутренние влаговыделения, в результате чего приобретает равновесные температуру и влажность помещения.

Коэффициент разделения потока в испарителе является эмпирической величиной и зависит от конструкции испарителя и скорости потока в нем.

Для рассмотренных процессов была создана математическая модель обработки влажного воздуха в кондиционере, которая содержит уравнения материального и теплового баланса для рассмотренной системы, а так же известные уравнения расчета параметров влажного воздуха. Для решения полученной нелинейной системы уравнений разработана программа для пакета Mathcad, которая позволяет провести численные исследования влияния температуры кипения фреона в испарителе, температуры и влажности наружного воздуха, степени рециркуляции, внешнего теплопритока, внутренних влаговыделений и других параметров на значение равновесной влажности воздуха в кондиционируемом помещении.

Наукове видання

**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ:
НАУКА, ТЕХНІКА, ТЕХНОЛОГІЯ, ОСВІТА, ЗДОРОВ'Я**

**Тези доповідей
XXVI МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
MicroCAD-2018**

**У чотирьох частинах
Ч. I.**

Укладач

проф. Лісачук Г.В.

Відповідальний секретар

Кубрак К.М.

Формат 60×86 /16. Ум. друк. арк. 19.4 Наклад 100 прим.

Надруковано у ТОВ «Планета – Принт»
61002, м. Харків, вул. Багалія, 16
Свідоцтво № 24800170000040432 від 21.03.2001 р.